



TUGAS AKHIR - TE141599

**REKONFIGURASI DAN PENEMPATAN KAPASITOR
MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI DENGAN
METODE *BINARY INTEGER PROGRAMMING* DAN
GENETIC ALGORITHM UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL
TEGANGAN**

**Risma Rizki Fauzi
NRP 2213 106 052**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M. Sc, Ph. D.
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TE 141599

***RECONFIGURATION AND CAPACITOR PLACEMENT
DUE TO CONTINGENCIES BY BINARY INTEGER
PROGRAMMING AND GENETIC ALGORITHM TO
IMPROVE VOLTAGE PROFILE***

Risma Rizki Fauzi
NRP 2213 106 052

Advisor
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M. Sc, Ph. D.
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

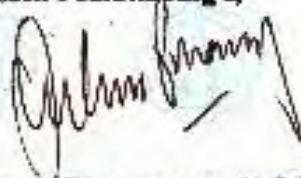
**REKONFIGURASI DAN PENEMPATAN KAPASITOR
MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI DENGAN METODE
BINARY INTEGER PROGRAMMING DAN GENETIC
ALGORITHM UNTUK MEMPERBAIKI PROFIL TEGANGAN**

TUGAS AKHIR


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,



Dosen Pembimbing II,



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

NIP. 1949 07 15 1974 12 1001

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

NIP. 1974 11 29 2000 12 1001



ABSTRAK

Sistem distribusi terhubung langsung dengan konsumen sehingga keandalan maupun kualitas penyaluran harus tetap terjaga. Kontingensi dapat terjadi pada suatu sistem distribusi sehingga diperlukan solusi untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan.

Rekonfigurasi dilakukan setelah terjadi kontingensi pada jaringan distribusi. Hal ini dilakukan dengan mengoperasikan sectional switch dan tie switch yang telah ditambahkan pada jaringan distribusi. Rekonfigurasi dilakukan dengan metode *Binary Integer Programming* untuk mendapatkan kombinasi yang mungkin. Hasil rekonfigurasi pada kasus dua adalah SS 4 *OPEN*, SS 5 *OPEN*, TS 3 *CLOSE* dan TS 4 *CLOSE*. Sedangkan pada kasus tiga terpilih kombinasi SS 4 *OPEN*, SS 6 *OPEN*, TS 3 *CLOSE* dan TS 4 *CLOSE*.

Hasil rekonfigurasi yang menunjukkan masih ada nilai tegangan di bawah standar mengakibatkan perlunya penempatan kapasitor pada penyulang. Penempatan kapasitor secara optimal dicari dengan metode *Genetic Algorithm*. Pada kasus dua terpilih penempatan kapasitor pada bus 23 dengan 720 KVAR dan bus 24 dengan 720 KVAR. Selain itu pada kasus tiga terpilih kapasitor ditempatkan pada bus 14 dengan 270 KVAR dan bus 33 dengan 900 KVAR. Dengan melakukan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor, akibat yang ditimbulkan oleh kontingensi dapat diatasi.

Kata Kunci : Kontingensi;Rekonfigurasi;Kapasitor;*Binary Integer Programming*;Genetic Algorithm

ABSTRACT

Distribution system is directly connected to consumers, so either the reliability or quality should be kept. Contingencies can distract a distribution system, a solution is needed for solving the problem that appears after contingencies.

Reconfiguration is done after contingencies on distribution system with operate a sectional switch or tie switch. Binary Integer Programming is used to solve the reconfiguration. For case 2, the reconfiguration's result is SS 4 OPEN, SS 5 OPEN, TS 3 CLOSE and TS 4 CLOSE. Meanwhile on case 3, the selected combination is SS 4 OPEN, SS 6 OPEN, TS 3 CLOSE and TS 4 CLOSE

Reconfiguration's results show a value of voltage profile that under the requirement of system. Then, a capacitor should be installed on the feeder. An optimal capacitor installment is searched by Genetic Algorithm. For case 2, capacitors placed at bus 23 with 720 KVAR and bus 24 with 720 KVAR. Meanwhile for case 3, capacitors placed at bus 14 with 270 KVAR and bus 33 with 900 KVAR. A problem that caused by contingencies can be improved by reconfiguration and capacitor placement.

Keywords : Contingency, Reconfiguration, Capacitor, Binary Integer Programming, Genetic Algorithm

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul **“Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor Mempertimbangkan Kontingensi dengan Metode *Binary Integer Programming* dan *Genetic Algorithm* Untuk Memperbaiki Profil Tegangan”**.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya
2. Kedua orang tua penulis serta seluruh keluarga yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Rony Seto Wibowo., ST., MT. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran yang sangat membantu penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
4. Keluarga besar Lab PSSSL dan keluarga besar LJ gasal 2013 yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro.

Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu diharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
1.7 Relevansi dan Manfaat	4
 BAB II SISTEM DISTRIBUSI, REKONFIGURASI DAN KAPASITOR	
2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial	6
2.1.2 Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup	7
2.1.3 Sistem Jaringan Distribusi <i>Ring</i>	7
2.1.4 Sistem Jaringan Distribusi <i>Mesh</i>	8
2.1.5 Sistem Jaringan Distribusi <i>Spindle</i>	8
2.2 Rekonfigurasi Jaringan Distribusi	10
2.3 Kapasitor	11
 BAB III BINARY INTEGER PROGRAMMING DAN GENETIC ALGORITHM	
3.1 Sistem Distribusi 20 KV di Surabaya	13
3.1.1 Penyulang Kaliasin	13
3.1.2 Penyulang Ometraco	14
3.1.3 Penyulang Basuki Rahmat	14

3.1.4	Penyulang Tunjungan	15
3.1.5	Penyulang Tegalsari	16
3.2	<i>Binary Integer Programming</i>	17
3.3	<i>Genetic Algorithm</i>	18
3.3.1	Inisialisasi Populasi	19
3.3.2	Evaluasi <i>Fitness</i>	20
3.3.3	Pemilihan Induk	21
3.3.4	Pembentukan Populasi Baru	21
3.3.5	Menggambar Kurva <i>Fitness</i>	22
3.3.6	Cetak Hasil Optimasi	22

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Jaringan Dsistribusi 20 KV Surabaya	23
4.2	Studi Kasus	28
4.2.1	Studi Kasus 1	29
4.2.1.1	Penyulang Kaliasin	29
4.2.1.2	Penyulang Ometraco	31
4.2.1.3	Penyulang Basuki Rahmat	33
4.2.1.4	Penyulang Tunjungan	36
4.2.1.5	Penyulang Tegalsari	38
4.2.2	Studi Kasus 2	41
4.2.2.1	Rekonfigurasi Penyulang Surabaya Kasus 2	43
4.2.2.2	Penempatan Kapasitor Penyulang Surabaya Kasus 2	49
4.2.3	Studi Kasus 3	52
4.2.3.1	Rekonfigurasi Penyulang Surabaya Kasus 3	53
4.2.3.2	Penempatan Kapasitor Penyulang Surabaya Kasus 3	57

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64

DAFTAR PUSTAKA	65
-----------------------------	----

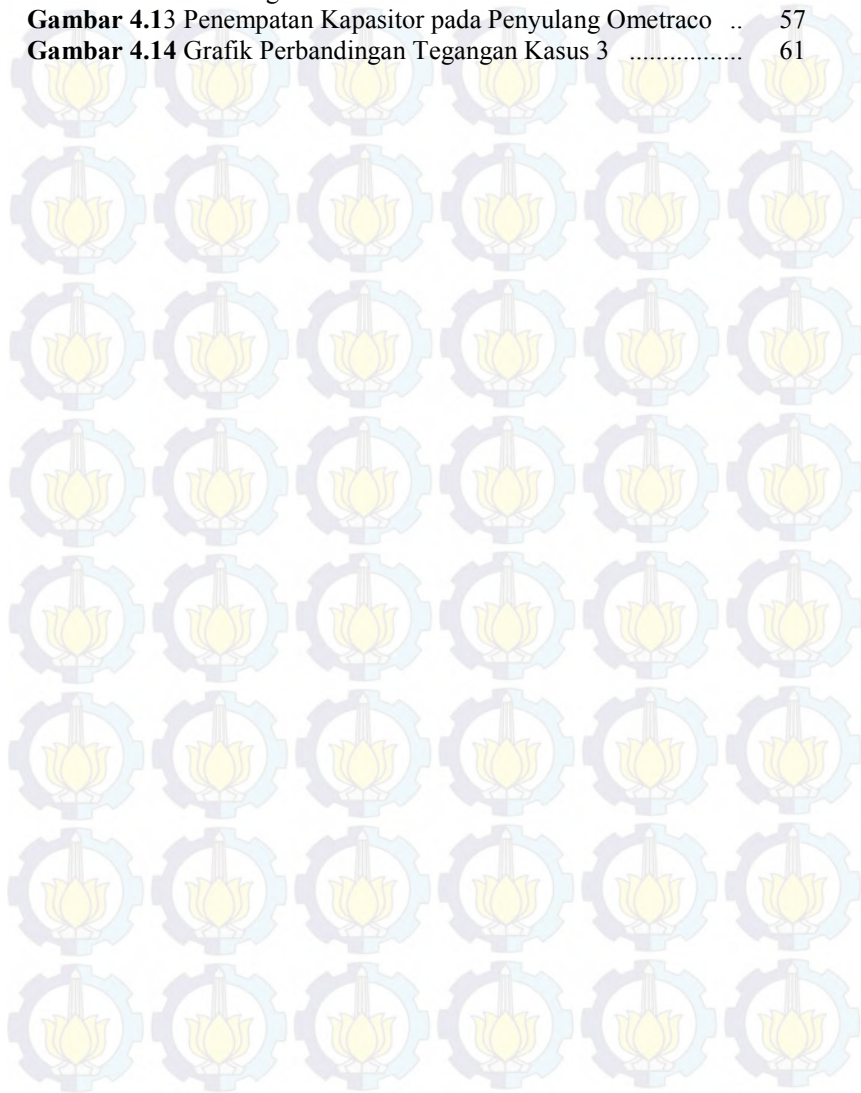
LAMPIRAN

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Distribusi Radial	7
Gambar 2.2	Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup	7
Gambar 2.3	Sistem Distribusi <i>Ring</i>	8
Gambar 2.4	Sistem Distribusi <i>Mesh</i>	8
Gambar 2.5	Sistem Jaringan Distribusi <i>Spindle</i>	10
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Kaliasin	13
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Ometraco	14
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Basuki Rahmat	15
Gambar 3.4	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tunjungan	16
Gambar 3.5	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tegalsari	17
Gambar 3.6	Skema Percabangan <i>Binary Integer Programming</i> ..	18
Gambar 3.7	Inisialisasi Generasi Awal	19
Gambar 3.8	Pengelompokkan Bit Kromosom	20
Gambar 3.9	Proses Pindah Silang	21
Gambar 3.10	Proses Mutasi	21
Gambar 4.1	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Kaliasin Dengan <i>Sectional Switch</i>	24
Gambar 4.2	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Ometraco Dengan <i>Sectional Switch</i>	25
Gambar 4.3	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Basuki Rahmat Dengan <i>Sectional Switch</i>	26
Gambar 4.4	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tunjungan Dengan <i>Sectional Switch</i>	27
Gambar 4.5	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tegalsari Dengan <i>Sectional Switch</i>	28
Gambar 4.6	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi	44
Gambar 4.7	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Basuki Rahmat Setelah Rekonfigurasi	45
Gambar 4.8	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi	46
Gambar 4.9	Penempatan Kapasitor Pada Penyulang Tegalsari ...	50
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Tegangan Kasus 2	52
Gambar 4.11	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi	53

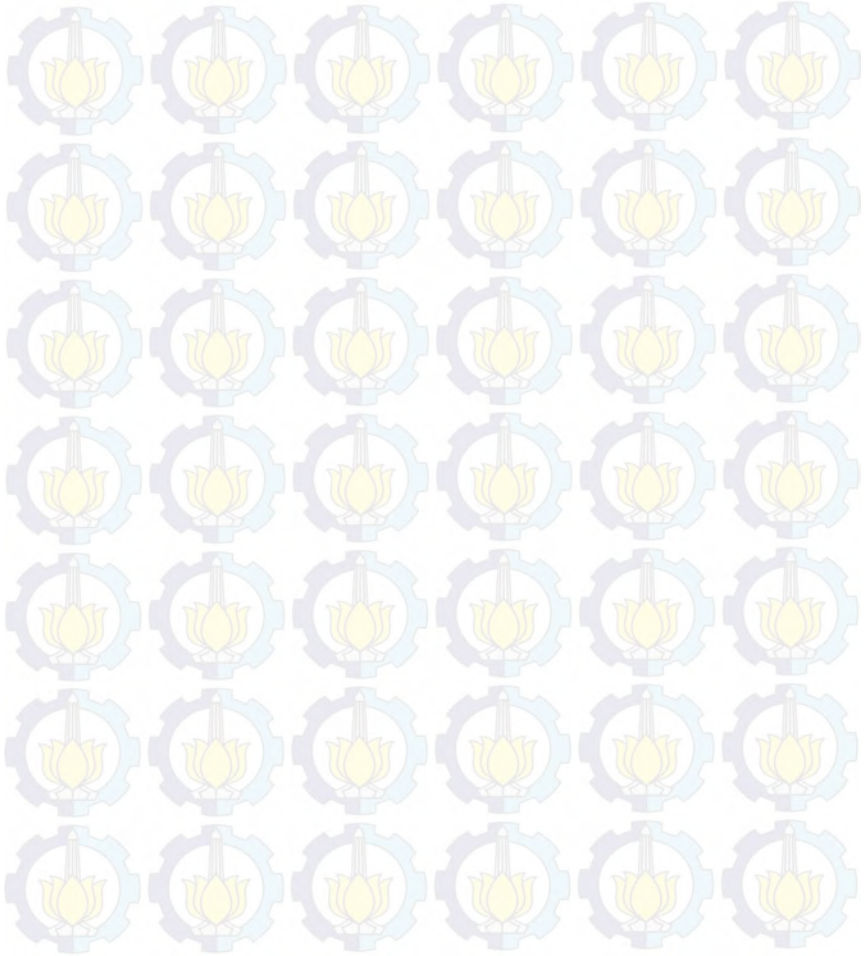
Gambar 4.12 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi	54
Gambar 4.13 Penempatan Kapasitor pada Penyulang Ometraco ..	57
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Tegangan Kasus 3	61



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Studi Kasus Simulasi	28
Tabel 4.2	Data Impedansi Saluran Penyulang Kaliasin Kasus 1 ..	29
Tabel 4.3	Data Beban Penyulang Kaliasin Kasus 1	29
Tabel 4.4	Hasil Aliran Daya Penyulang Kaliasin Kasus 1	30
Tabel 4.5	Data Impedansi Saluran Penyulang Ometraco Kasus 1	31
Tabel 4.6	Data Beban Penyulang Ometraco Kasus 1	31
Tabel 4.7	Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Kasus 1	32
Tabel 4.8	Data Impedansi Saluran Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1	33
Tabel 4.9	Data Beban Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1	34
Tabel 4.10	Hasil Aliran Daya Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1	35
Tabel 4.11	Data Impedansi Saluran Penyulang Tunjungan Kasus 1	37
Tabel 4.12	Data Beban Penyulang Tunjungan Kasus 1	37
Tabel 4.13	Hasil Aliran Daya Penyulang Tunjungan Kasus 1	38
Tabel 4.14	Data Impedansi Saluran Penyulang Tegalsari Kasus 1	38
Tabel 4.15	Data Beban Penyulang Tegalsari Kasus 1	39
Tabel 4.16	Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Kasus 1	40
Tabel 4.17	Data Impedansi Saluran Penyulang Ometraco Kasus 2	41
Tabel 4.18	Data Beban Penyulang Ometraco Kasus 2	42
Tabel 4.19	Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Kasus 2	43
Tabel 4.20	Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2	47
Tabel 4.21	Hasil Aliran Daya Penyulang Basuki Rahmat Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2	47
Tabel 4.22	Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2	48
Tabel 4.23	Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Penempatan Kapasitor Kasus 2	50
Tabel 4.24	Perbandingan Tegangan Pada Penyulang Tegalsari Kasus 2	51
Tabel 4.25	Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi Kasus 3	55

Tabel 4.26	Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi Kasus 3	56
Tabel 4.27	Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Penempatan Kapsitor Kasus 3	58
Tabel 4.24	Perbandingan Tegangan Pada Penyulang Ometraco Kasus 3	59



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik. Sistem distribusi berhubungan langsung dalam menyalurkan energi listrik pada konsumen. Pada penyaluran tenaga listrik selalu terdapat suatu gangguan, masalah yang menghambat proses distribusi. Salah satu gangguan yang mungkin terjadi adalah kontingensi. Kontingensi merupakan kejadian yang tidak diharapkan pada proses distribusi, seperti pembebanan berlebih pada suatu penyulang, transformator mengalami kerusakan, atau terputusnya saluran. Kontingensi dapat menyebabkan kualitas energi listrik berkurang dan keandalan sistem menurun. Untuk mendapatkan keandalan yang lebih baik, maka digunakan switch NO dan NC pada sistem distribusi dengan mengubah status *open* atau *close* sebuah *switch* pada *feeder*, maka aliran daya dapat dialihkan dari satu *feeder* ke *feeder* lain [3].

Rekonfigurasi jaringan distribusi merupakan pengaturan ulang konfigurasi jaringan dengan mengoperasikan *tie switch* dan *sectional switch* pada jaringan distribusi. Masalah kontingensi dapat diperbaiki dengan bentuk konfigurasi jaringan yang tepat. Jumlah kombinasi yang banyak menjadi sebuah permasalahan dalam proses rekonfigurasi untuk mendapatkan hasil yang optimal, sehingga dibutuhkan metode yang tepat untuk pemilihan kombinasi yang optimal. Metode yang digunakan untuk menentukan kombinasi jaringan yang tepat adalah *Binary Integer Programming*.

Salah satu cara untuk memperbaiki profil tegangan pada sistem distribusi yang banyak digunakan adalah dengan menempatkan kapasitor pada *feeder* [4]. Lokasi dan kapasitas kapasitor menjadi pertimbangan dalam memasang kapasitor di jaringan distribusi. Metode *Genetic Algorithm* digunakan untuk menghasilkan solusi yang praktis untuk masalah ini. Penempatan kapasitor yang optimal akan memberikan efisiensi dan meningkatkan profil tegangan di bus.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Memperbaiki profil tegangan dengan cara rekonfigurasi jaringan distribusi 20 KV di Surabaya yang mengalami

kontingensi menggunakan metode *Binary Integer Programming*.

2. Menempatkan kapasitor secara optimal dengan metode *Genetic Algorithm* setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan

1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini adalah mempelajari cara mengatasi kontingensi pada penyulang

1. Mempelajari cara merekonfigurasi dan menempatkan kapasitor secara optimal pada jaringan distribusi akibat terjadi kontingensi pada sistem.
2. Mendapatkan profil tegangan yang lebih baik akibat adanya kontingensi pada sistem.
3. Menerapkan metode *Binary Integer Programming* dan *Genetic Algorithm* untuk rekonfigurasi dan penempatan kapasitor

1.4 Batasan Masalah

Karena ruang lingkup permasalahan yang sangat luas, maka dalam penulisan tugas akhir ini dibatasi pada :

1. Software yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Matlab.
2. Sistem yang dianalisa adalah sistem distribusi Surabaya dengan 5 Penyulang, yaitu Penyulang Tegalsari, Penyulang Kaliasin, Penyulang Basuki Rahmat, Penyulang Ometraco dan Penyulang Tunjungan.
3. Kontingensi yang terjadi adalah salah satu penyulang kelebihan beban dan penyulang mengalami trip.
4. Beban tiga fasa dianggap seimbang sehingga analisa menggunakan beban satu fasa.

1.5 Metodologi

Metodologi dalam menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini meliputi :

1. Studi Literatur
Studi mengenai rekonfigurasi jaringan distribusi, penempatan kapasitor untuk memperbaiki profil tegangan menggunakan *Binary Integer Programming* dan *Genetic Algorithm*.
2. Pengumpulan Data
Pada awal penelitian, data – data yang diperlukan dalam melakukan analisis meliputi *single line diagram*, data

impedansi saluran dan beban pada tiap penyulang di Surabaya Utara.

3. Simulasi dan Analisis Data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan disimulasikan untuk mengetahui konfigurasi jaringan distribusi dan penempatan kapasitor yang optimal dengan profil tegangan yang bagus. Simulasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Dari simulasi didapatkan data profil tegangan dan kemudian dilakukan analisa terhadap hasil simulasi tersebut.

4. Penulisan Buku Tugas Akhir

Penulisan buku tugas akhir merupakan rangkuman kesimpulan akhir dari beberapa metodologi untuk menggambarkan hasil serta analisa dan simulasi yang telah dilakukan

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB 2 : Sistem Distribusi, Rekonfigurasi dan Kapasitor

Bab ini secara garis besar membahas tentang dasar teori sistem distribusi, rekonfigurasi dan kapasitor sebagai dasar yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

BAB 3 : *Binary Integer Programming* dan *Genetic Algorithm*

Bab ini membahas sistem distribusi 20 kV di Surabaya Utara, metode *Binary Integer Programming* dan *Genetic Algorithm*.

BAB 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas tentang hasil dari rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapsitor yang tepat beserta optimasinya untuk memperbaiki profil tegangan akibat adanya kontingensi.

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis penyelesaian kasus kontingensi dengan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor yang telah diperoleh melalui simulasi.

1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan konfigurasi jaringan distribusi terbaik.
2. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan penempatan kapasitor pada jaringan distribusi dengan optimal.
3. Mendapat hasil yang paling optimal yaitu profil tegangan terbaik.
4. Menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir.
5. Menjadi referensi untuk dilakukan pengembangan lagi.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI, REKONFIGURASI DAN KAPASITOR

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terbagi atas sistem pembangkitan, transmisi dan distribusi. Sistem pembangkitan merupakan bagian yang memproduksi tenaga listrik oleh pembangkit – pembangkit yang dibangun jauh dari pusat beban. Sistem transmisi merupakan penyaluran tenaga listrik dari sistem pembangkitan menuju sistem distribusi. Sistem distribusi berperan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk ke pusat – pusat beban atau konsumen tenaga listrik. Berdasarkan tingkat tegangan distribusinya, sistem distribusi diklasifikasikan menjadi :

- Sistem distribusi primer
- Sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari suplai daya ke pusat beban (Gardu Induk menuju Gardu Distribusi). Penyaluran ini terpasang sepanjang daerah yang dialiri tenaga listrik dengan membentuk jaringan atau penyulang – penyulang sampai ke pusat beban paling akhir. Tingkat tegangan yang digunakan meliputi tegangan menengah 6 KV dan 20 KV sehingga sering disebut dengan sistem distribusi tegangan menengah.

Sistem distribusi sekunder berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk ke masing – masing pelanggan secara langsung. Contohnya adalah suplai tenaga listrik pada daerah perumahan kecil, penerangan jalan maupun industri kecil. Pada sistem distribusi sekunder menggunakan tegangan rendah 0,4 KV atau 220/380 V sehingga sering disebut dengan sistem distribusi tegangan rendah.

Sistem distribusi dikenal dengan beberapa macam jenis atau tipe sistem jaring dengan kelebihan dan kekurangan di tiap jenis. Dasar pemilihan suatu sistem tergantung dari tingkat kepentingan konsumen atau daerah itu sendiri yang meliputi :

1. Kontinuitas pelayanan yang baik
2. Kualitas daya yang baik
3. Luas dan penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang
4. Kondisi dan situasi lingkungan

5. Kerapatan beban pada daerah yang diinginkan
6. Pengaturan tegangan
7. Sistem penyambungan beban
8. Pertimbangan faktor teknis dan ekonomis
9. Perencanaan dan besar kapasitas gardu
10. Keperluan darurat penambahan daya listrik pada penyulang.

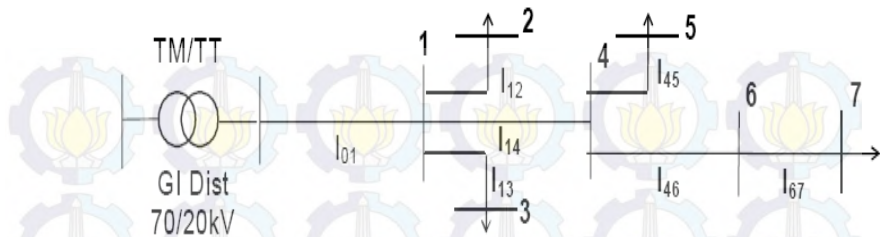
Sistem jaringan yang umum digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ada beberapa bentuk, yaitu :

1. Sistem jaringan distribusi radial
2. Sistem jaringan distribusi rangkaian tertutup (*loop*)
3. Sistem jaringan distribusi *ring*
4. Sistem jaringan distribusi *mesh*
5. Sistem jaringan distribusi *spindle*

2.1.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial

Sistem radial adalah sistem yang paling mudah dalam pengontrolannya, dan paling sederhana. Oleh karena itu sistem ini sering digunakan. Sistem tersusun dari saluran yang ditarik dari titik sumber dan akan dicabangkangkan ke beban. Ada beberapa tipe distribusi radial yaitu radial pohon, radial dengan pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian fasa. Jaringan distribusi radial pohon adalah bentuk distribusi dengan satu saluran utama disuplai menurut beban, kemudian dicabangkan selanjutnya ditambah cabang lagi yang disebut dengan anak cabang.

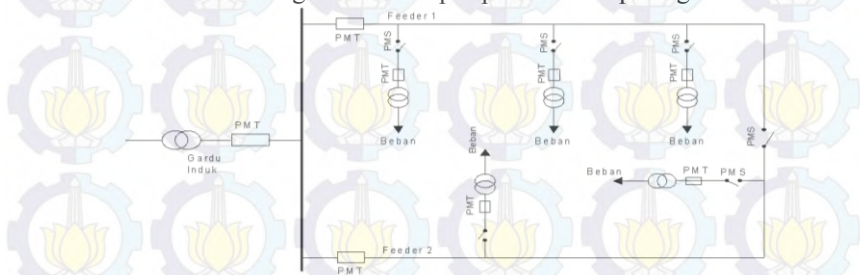
Jaringan distribusi radial dengan pemisah merupakan perubahan dari bentuk distribusi radial pohon tetapi dengan menambahkan pemisah yang digunakan untuk menjaga pelayanan konsumen, pemisah digunakan untuk melokalisir wilayah yang terjadi gangguan agar tidak menyebar ke wilayah lain yang tidak terkena gangguan. Jaringan distribusi dengan pusat beban berbentuk jaringan yang menyuplai menggunakan penyulang utama langsung disalurkan ke pusat beban, dan dari pusat beban ini akan di salurkan ke beban yang lain. Jaringan distribusi radial dengan pembagian fasa memiliki sistem yang berbeda antara fasa yang satu dengan yang lain. Contoh dari sistem distribusi radial ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Radial

2.1.2. Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup

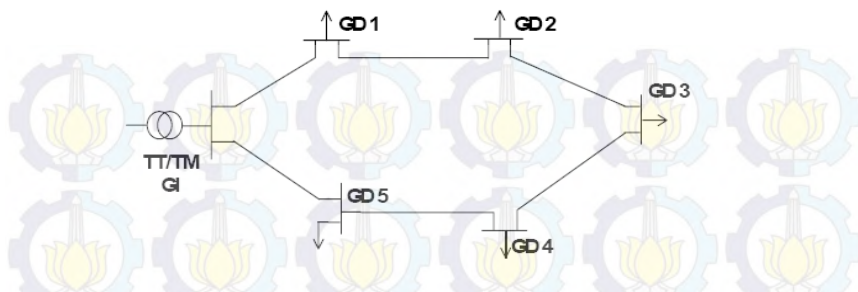
Sistem jaring ini disebut rangkaian tertutup karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani membentuk suatu rangkaian tertutup seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Distribusi Rangkaian Tertutup

2.1.3. Sistem Jaringan Distribusi Ring

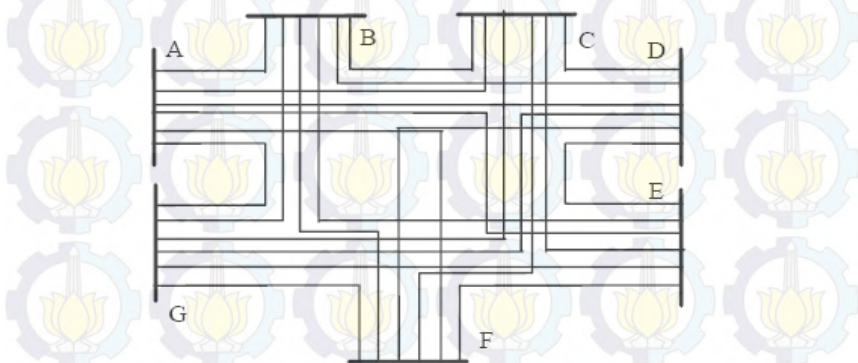
Jaringan distribusi ring merupakan bentuk jaringan distribusi yang tertutup, susunan penyulang berbentuk cincin yang memungkinkan beban dilayani oleh dua sumber atau lebih. Dengan disuplai dari dua atau lebih sumber maka sistem ini dapat menjaga kelangsungan pelayanan jika terdapat gangguan pada sumber. Akan tetapi jika beban yang akan dilayani bertambah kapasitas pelayanan akan menjadi jelek. Jaringan distribusi *ring* ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem Distribusi *Ring*

2.1.4. Sistem Jaringan Distribusi *Mesh*

Jaringan distribusi *mesh* adalah jaringan distribusi yang mengkombinasikan jaringan radial dan *ring*, sistem ini lebih baik dari sistem-sistem yang lain serta dapat diandalkan, sistem ini digunakan jika daerah yang akan dilayani memiliki tingkat kepadatan konsumen yang sangat tinggi. Karena merupakan gabungan sistem ini memerlukan biaya investasi maupun perawatan yang tinggi. Selain biaya yang tinggi tingkat koordinasi alat pengaman juga sulit. Gambar dari jaringan distribusi *mesh* ditunjukkan oleh Gambar 2.4



Gambar 2.4 Sistem Distribusi *Mesh*

2.1.5. Sistem Jaringan Distribusi *Spindle*

Sistem jaring ini merupakan kombinasi antara jaring radial dengan jaring rangkaian terbuka (*open loop*). Titik beban memiliki kombinasi alternatif penyulang sehingga bila salah satu penyulang terganggu, maka

dengan segera dapat digantikan oleh penyulang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin.

Yang menjadi ciri khas dari sistem *spindle* adalah saluran cadangan (ekspres) dimana pada kondisi normal tidak dibebani namun bertegangan dan adanya gardu hubung yang merupakan titik pertemuan dari semua penyulang primer, yang berisi rel daya sejumlah saklar yang menghubungkan masing-masing penyulang utama ke rel tersebut. Di sepanjang saluran juga terdapat *Load Break Switch* (LBS) yang berguna untuk keperluan manuver bila ada gangguan pada saluran kerja (*working feeder*). Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang terletak diantara dua gardu maka setelah gangguan dilokalisasi, pelayanan dapat dipulihkan dengan satu bagian mendapatkan daya langsung dari gardu induk sedangkan bagian yang lain mendapatkan daya dari gardu induk yang sama setelah melalui penyulang ekspres dan gardu hubung.

Keuntungan pada sistem *spindle* adalah :

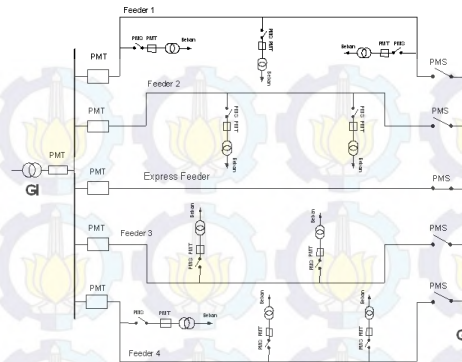
1. Memiliki kontinuitas penyaluran daya terjamin
2. Kualitas tegangan baik karena rugi daya pada saluran paling kecil
3. Memudahkan dalam mencari lokasi gangguan.
4. Memperkecil jumlah pelanggan yang padam

Sedangkan kelemahan pada sistem ini adalah :

1. Biaya investasi yang besar
2. Perlu tenaga terampil dalam pengoperasian
3. Perlu koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit

Sistem ini banyak dipakai di Jakarta dan kota-kota besar di Indonesia. Di daerah Surabaya sistem ini belum banyak digunakan, hanya ada satu operasi *spindle* yang ada yaitu GI Rungkut dan sampai saat ini masih operasi secara manual. Sistem ini memberikan keandalan yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel saluran ekspres. Bila saluran ekspres terganggu maka saklar akan bekerja, dan sistem *spindle* ini sementara akan bekerja sebagai sistem biasa.

Keadaan pada jaring distribusi yang umum ditemukan terdapat dua atau lebih penyulang dari Gardu Induk berbentuk radial, kemudian pada titik tertentu dari penyulang-penyulang tersebut saling terhubung sehingga membentuk satu atau lebih *loop* dengan cabang-cabang radial yang cukup panjang. Bentuk sistem jaring distribusi spindel dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sistem Jaringan Distribusi *Spindle*

2.2. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi tenaga listrik memiliki beberapa macam tipe atau bentuk jaringan. Jaringan distribusi radial merupakan tipe yang banyak digunakan pada sistem tenaga listrik. Pada jaringan distribusi tenaga listrik terdapat dua macam switch, yakni *switch Normally Close* (NC) dan *switch Normally Open* (NO). Saat terjadi gangguan, *switch NC* akan membuka untuk mengisolasi bagian yang mengalami gangguan dan *switch NO* akan menutup pada saat yang sama. Menutupnya *switch NO* untuk mengalihkan beberapa cabang ke penyulang lain untuk menjaga suplai tenaga kepada konsumen.

Rekonfigurasi jaringan distribusi tenaga listrik merupakan proses pembentukan struktur topologi dari penyulang distribusi dengan mengubah status dari *switch*. Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi – rugi daya pada sistem (*loss reduction*) dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*).

Algoritma yang dipakai pada rekonfigurasi jaringan tenaga listrik dimasukkan kedalam dua kategori. Pertama yaitu *branch exchange*, sistem dapat dioperasikan pada tipe radial dan yang kedua algoritma menentukan *switch* yang akan dibuka dan ditutup. Pada rekonfigurasi jaring distribusi tenaga listrik perlu diperhatikan beberapa kriteria antara lain :

1. Rekonfigurasi jaringan distribusi tenaga listrik dilakukan dari penyulang dengan penurunan tegangan besar (naik melebihi

5% dan turun melebihi 5% dari tegangan nominal) ke penyulang dengan penurunan tegangan kecil.

2. Rekonfigurasi jaringan distribusi tenaga listrik dapat dilakukan pada penyulang-penyulang yang terhubung satu sama lain (terdapat *switch* yang menghubungkan penyulang-penyulang).

2.3. Kapasitor

Kapasitor yang dipasang pada suatu sistem distribusi mampu menghasilkan daya reaktif sehingga dapat disebut sebagai komponen kompensator. Kapasitor dapat berfungsi untuk memperbaiki faktor daya, sebagai pengatur tegangan maupun mengurangi kerugian daya (P_{loss}) dan drop tegangan (V_{drop}) pada jaringan. Sebagai kompensator, kapasitor mengkompensasi daya reaktif sekaligus menjaga kualitas tegangan dan meningkatkan efisiensi pada sistem. Penggunaan kapasitor memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.
- Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi.
- Meningkatkan kemampuan penyaluran daya gardu – gardu distribusi.
- Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
- Menjaga kualitas tegangan pada sistem distribusi.
- Meningkatkan kemampuan feeder dan peralatan yang ada pada sistem distribusi

Kapasitor mendapatkan daya reaktif yang besar per unit volume dengan cara memiliki *losses* yang rendah dengan dioperasikan pada tegangan tinggi. Akibat hal ini maka untuk operasional yang lama saat tegangan lebih harus dihindari untuk mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Penentuan rating daya reaktif kapasitor adalah hasil selisih faktor daya lama dan faktor daya baru dikalikan dengan daya semu total.



BAB III

BINARY INTEGER PROGRAMMING DAN GENETIC ALGORITHM

3.1. Sistem Distribusi 20 KV di Surabaya

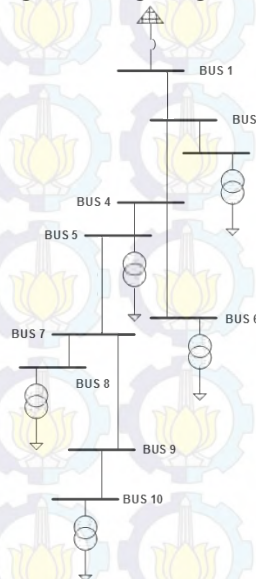
Sistem distribusi di kota Surabaya terbagi menjadi tiga bagian yaitu Surabaya Selatan, Surabaya Utara dan Surabaya Barat. Pada tugas akhir ini akan digunakan lima penyalang pada sistem distribusi Surabaya yang terdiri dari

- GI Simpang : Penyalang Tunjungan dan Ometraco
- GI Kupang : Penyalang Basuki Rahmat, Kaliasin, dan Tegalsari

Berikut ini merupakan data penunjang yang digunakan dalam pembahasan tugas akhir ini dari setiap penyalang.

3.1.1. Penyalang Kaliasin

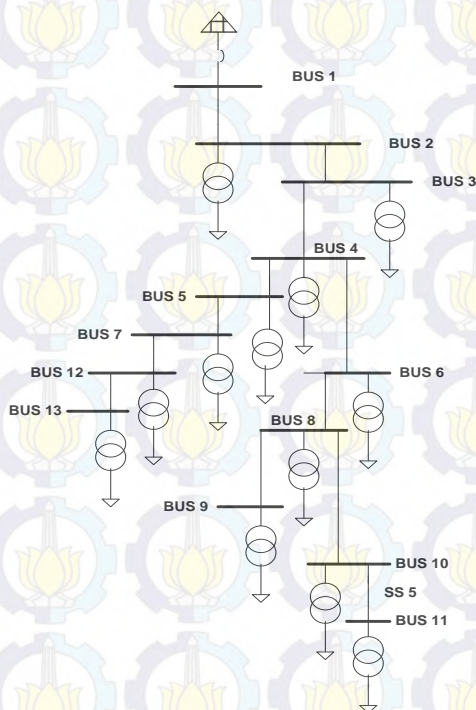
Pada penyalang Kaliasin terdapat 10 bus pada jaringannya dan gambar konfigurasinya dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 *Single line diagram* penyalang Kaliasin

3.1.2. Penyulang Ometraco

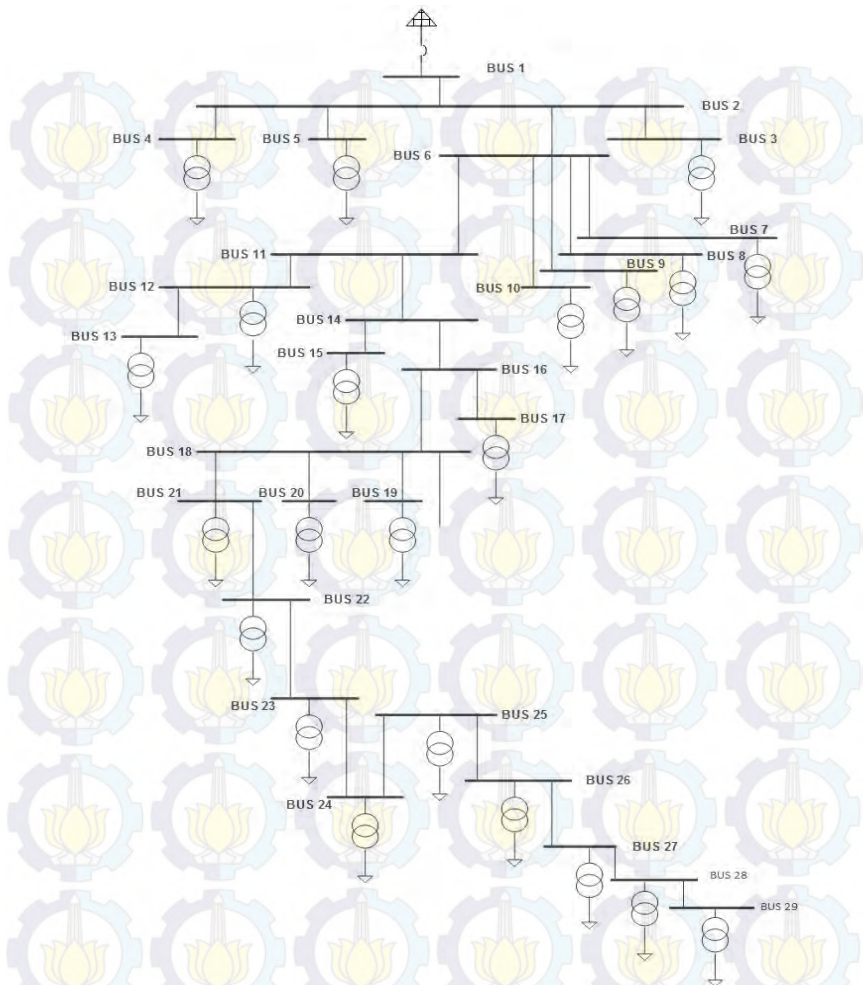
Pada penyulang Ometraco terdapat 13 bus pada jaringannya dan gambar konfigurasi jaringannya seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Single line diagram* penyulang Ometraco

3.1.3. Penyulang Basuki Rahmat

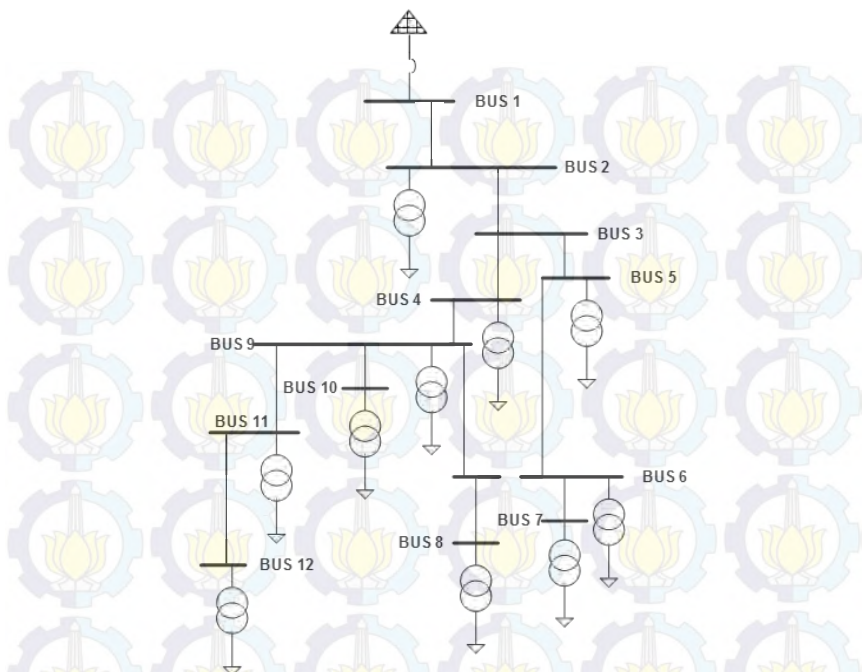
Pada penyulang Basuki Rahmat terdapat 29 bus pada jaringannya dan gambar konfigurasi jaringannya seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Single line diagram* penyulang Basuki Rahmat

3.1.4. Penyulang Tunjungan

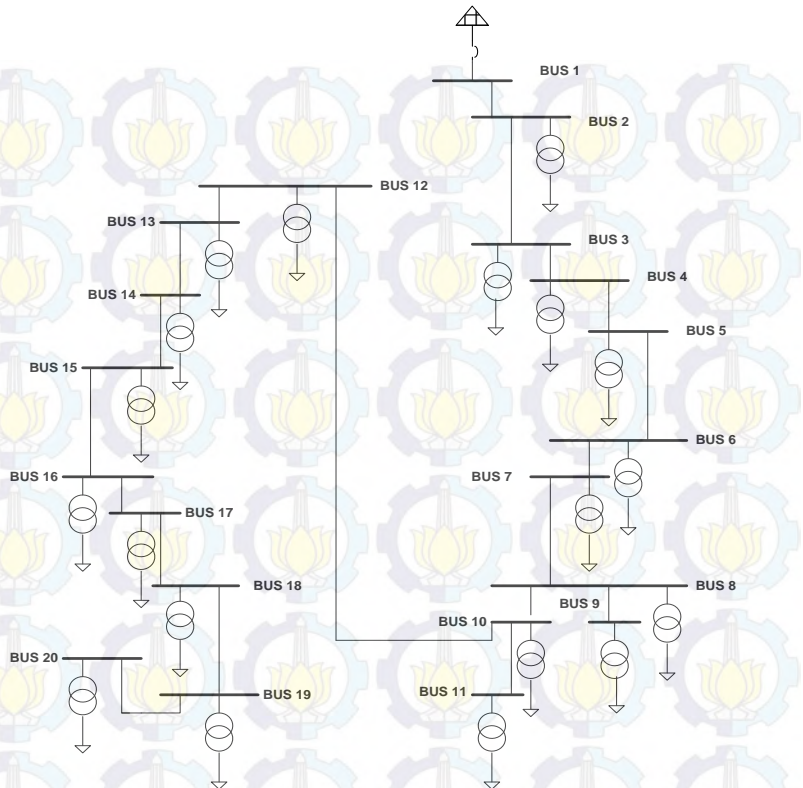
Pada penyulang Tunjungan terdapat 12 bus pada jaringannya dan gambar konfigurasi jaringannya seperti pada gambar 3.4



Gambar 3.4 *Single line diagram* penyulang Tunjungan

3.1.5. Penyulang Tegalsari

Pada penyulang Tegalsari terdapat 20 bus pada jaringannya dan gambar konfigurasi jaringannya seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 *Single line diagram* penyulang Tegalsari

3.2. *Binary Integer Programming*

Pengoperasian saklar pada *feeder* berguna untuk memperbaiki kualitas daya atau memperbaiki efisiensi operasional sistem dengan membuka *sectional switch* (NC) pada *feeder* dan menutup *tie switch* diantara dua *feeder* (NO). Dengan begitu daerah yang dilayani oleh sistem distribusi diatur ulang dan beban dapat dialiri daya [5].

Masalah pengoperasian saklar dapat dianggap sebagai sebuah keputusan yang mendasar yaitu saklar on dan saklar off seperti sebuah masalah dengan tipe solusi ya atau tidak. Dengan menyatakan hubungan saklar *on* atau *off* pada sebuah permasalahan yang harus diselesaikan dengan jawaban ya atau tidak, operasi saklar dapat dimodelkan sebagai

masalah *Binary Integer Programming* yang diselesaikan secara efisien dengan teknik *branch and bound*.



Gambar 3.6 Skema Percabangan *Binary Integer Programming*

Teknik *branch* akan melakukan pencarian dalam bentuk pohon atau percabangan. Pada tahap ini, tekniknya adalah memilih variabel x_j dan menambahkan suatu batasan $x_j=0$ untuk satu cabang dan $x_j=1$ untuk cabang lainnya. Hal ini dapat membagi sebuah permasalahan menjadi sub – sub permasalahan yang lebih kecil. Setelah terbentuk sub – sub masalah, diperlukan suatu *bound* atau batasan yang mengindikasikan tingkat keberhasilan penyelesaian tersebut. Pertumbuhan cabang pada pencarian dalam bentuk pohon, algoritma akan terus memperbarui batasannya. Batasan – batasan ini yang akan menghentikan pertumbuhan cabang atau memotong percabangan yang tidak diperlukan agar tidak memberikan hasil kurang optimal

3.3. *Genetic Algorithm*

Genetic Algorithm merupakan sebuah teknik pencarian dengan parameter yang efektif untuk memecahkan masalah optimasi. Metode ini dipertimbangkan ketika teknik optimasi konvensional tidak mencapai kecepatan, akurasi, atau efisiensi yang diinginkan untuk menemukan solusi optimal [6]. *Genetic Algorithm* menjadi salah satu teknik optimasi yang banyak digunakan di berbagai bidang. Pada sistem tenaga, teknik ini digunakan dalam *unit commitment*, *economic dispatch*, *load forecasting*, *reliability studies* dan *various resource allocation problems*. Struktur *Genetic Algorithm* diuraikan oleh Goldberg. Algoritma ini merujuk pada pemikiran Darwin mengenai teori evolusi. Teori ini menyatakan bahwa dalam satu kehidupan makhluk hidup yang kuat akan menang. Darwin juga menyatakan makhluk hidup harus melalui proses reproduksi, perkawinan dan perubahan gen untuk mempertahankan kehidupan. Berdasarkan teori tersebut kemudian diterapkan dalam algoritma komputasi untuk mencari solusi yang alamiah dari suatu masalah.

Genetic Algorithm membangkitkan solusi secara acak yang disebut gen. beberapa gen atau solusi disebut dengan populasi. Setiap solusi dalam populasi mewakili solusi yang mungkin untuk optimasi dan disebut dengan kromosom. Kumpulan dari kromosom akan mengalami *crossover* dan mutasi yang akan menjadi sebuah generasi.

Proses *crossover* digunakan untuk menggabungkan individu pada suatu generasi. *Crossover* tergantung pada nilai random dan *crossover rate* yang telah ditetapkan. Mutasi digunakan untuk mengganti nilai gen dari populasi dengan nilai random yang baru. Proses mutasi bergantung pada nilai *mutate rate* yang telah ditetapkan dari awal. Kromosom dapat berupa nilai biner, *numeric*, simbol, karakter dari suatu permasalahan. Hasil *crossover* dan mutasi menunjukkan kualitas *fitness* dari setiap populasi. Nilai *fitness* yang terbaik dipilih untuk dijadikan kromosom yang dipertahankan untuk generasi selanjutnya. Proses tersebut berlangsung ketika suatu generasi menghasilkan satu nilai *fitness* terbaik dan akan dibandingkan dengan *fitness* dari generasi yang akan datang hingga semua generasi telah dibangkitkan. *Genetic Algorithm* memiliki beberapa parameter, yaitu :

- Ukuran populasi
- Probabilitas operasi *genetic*
- Jumlah individu yang terbawa dalam prosedur seleksi

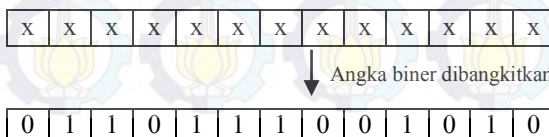
Pada tugas akhir ini *Genetic Algorithm* digunakan untuk menguji semua kemungkinan dalam menempatkan kapasitor. *Genetic Algorithm* digunakan untuk mencari lokasi dan ukuran kapasitor yang optimal untuk memperbaiki profil tegangan yang paling baik.

3.3.1. Inisialisasi Populasi

Tahap inisialisasi populasi awal terdapat dua proses yaitu pembangkitan generasi awal dan

- Pembangkitan generasi awal

Pada tahap ini parameter yang dicari akan dikodekan dalam bit biner dan dibangkitkan secara acak, misalnya dibangkitkan pada 13 bit biner acak.

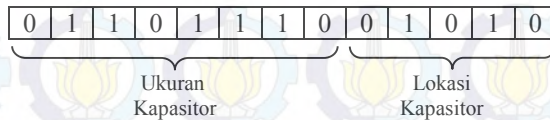


Gambar 3.7 Inisialisasi Generasi Awal

Kumpulan 13 bit biner disebut sebagai kromosom. Jumlah bit pada suatu kromosom bergantung pada masalah yang hendak dipecahkan. Kromosom yang dibangkitkan sebanyak 13 kromosom kemudian disebut sebagai populasi.

- Pencocokan bit biner dengan *database*

Kromosom yang dibangkitkan secara acak tadi menunjukkan solusi dalam kasus penempatan kapasitor. Kromosom ini kemudian dikelompokkan sesuai jenis dan pengalamatannya. Setelah itu dicocokkan dengan file *database*.



Gambar 3.8 Pengelompokan Bit Kromosom

Database merupakan sekumpulan data yang menunjukkan hasil decode kromosom menjadi sebuah solusi untuk penempatan kapasitor. Semua solusi yang mungkin dijadikan satu *database* sehingga ketika generasi terbentuk, bisa dilakukan pencocokan deret biner dengan solusi pada *database*. Solusi yang terpilih akan diujicoba dengan cara memperbarui *update* pada data bus atau line data.

- Nilai *Fitness*

Setiap generasi akan memiliki kromosom yang melalui proses evaluasi dengan tolak ukur *fitness*. Nilai *fitnees* menggambarkan kualitas suatu kromosom dalam sebuah populasi. Setiap populasi akan dievaluasi dengan cara menghitung *fitness* setiap kromosom dan mengevaluasinya hingga memenuhi kriteria. Jika belum memenuhi kriteria, akan dibangkitkan satu generasi lagi dan mengulang kembali dari langkah pertama. Data bus atau *line* data yang telah diperbarui dijalankan pada program aliran daya sehingga menghasilkan hasil aliran daya yang baru.

3.3.2. Evaluasi *Fitness*

Nilai *fitness* yang telah diperoleh akan dievaluasi terhadap suatu batasan. Jika sebuah *fitness* memenuhi syarat dari batasan, maka

hasinlnya akan direkam dan dijadikan sebuah solusi. Jika tidak emenuhi sebuah batasan, maka akan dilakukan pemilihan induk, *crossover* dan seterusnya.

3.3.3. Pemilihan Induk

Fitness yang tidak memenuhi batasan akan ditampung untuk kemudian tiap sepasang *fitness* akan dibuat sebagai pasangan induk dan tercipta beberapa pasang induk.

3.3.4. Pembentukan Populasi Baru

1. Pindah Silang

Kromosom yang mengarah pada sebuah solusi yang tepat bisa saja diperoleh dari memindahsilangkan dua buah kromosom. Hanya saja sebuah proses pindah silang hanya dilakukan bila syarat probabilitas telah terpenuhi ($p_c > \text{random}$). Proses pindah silang yang sederhana adalah pindah silang satu titik potong. Suatu titik potong dipilih secara acak dan bagian pertama dari sebuah induk digabungkan dengan bagian induk lainnya.

0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Induk 1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Induk 2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Anak 1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Anak 2

Gambar 3.9 Proses Pindah Silang

2. Mutasi

Proses pembentukan yang lain adalah dengan mutasi. Proses mutasi hanya dilakukan bila probabilitas mutasi ($p_m > \text{random}$). Gen akan diubah nilainya menjadi kebalikannya. Biasanya mutasi diset $1/n$ dimana n adalah jumlah gen dalam kromosom. Hal ini berarti hanya satu gen yang akan diubah nilainya.

0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Kromosom Awal
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Hasil Mutasi

Gambar 3.10 Proses Mutasi

3. Elitisme

Solusi – solusi yang muncul pada setiap iterasi akan direkam dan dicari solusi mana yang paling optimal. Jika pada iterasi berikutnya ditemukan solusi dengan nilai lebih bagus, maka solusi baru akan menggantikan solusi yang lama, hal ini terus terjadi hingga iterasi selesai

4. Pergantian Populasi

Dalam *Genetic Algorithm* ada beberapa skema pergantian populasi. Skema penggantian populasi yang paling sederhana adalah mengganti semua individu dengan individu baru hasil pindah silang dan mutasi.

3.3.5. Menggambar Kurva *Fitness*

Fitness terbaik dari setiap generasi akan digambarkan dalam suatu kurva. Jika *fitness* generasi sebelumnya lebih kecil dari generasi baru, maka yang digambar adalah *fitness* sebelumnya. Ketika *fitness* sebuah generasi baru lebih kecil dari generasi sebelumnya maka yang digambar adalah *fitness* generasi baru.

3.3.6. Cetak Hasil Optimasi

Ketika *fitness* dari semua generasi telah didapatkan, hasil resolusi yang menghasilkan nilai *fitness* akan dicetak dan diambil dari fungsi rekam *fitness* sebelumnya.

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

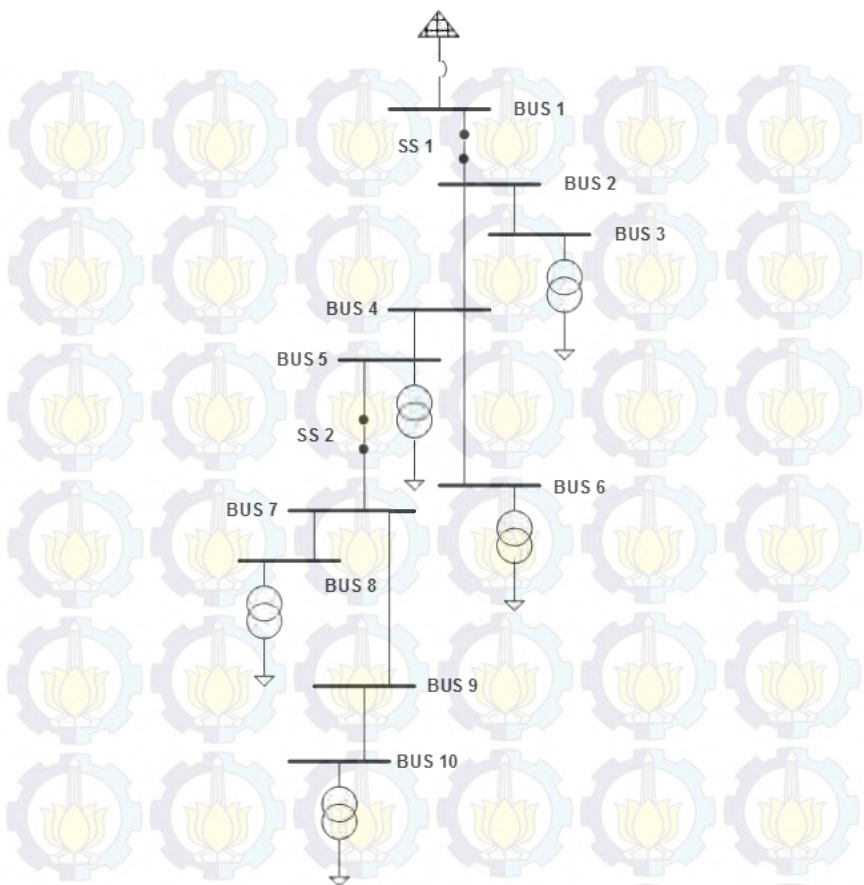
4.1. Jaringan Distribusi 20 KV Surabaya

Pada bab IV akan dibahas mengenai simulasi dan analisa dengan menggunakan Matlab pada jaringan distribusi 20 KV Surabaya bila terjadi kontingensi. Jaringan distribusi yang dianalisa pada Tugas Akhir ini adalah lima penyulang di Surabaya, yaitu :

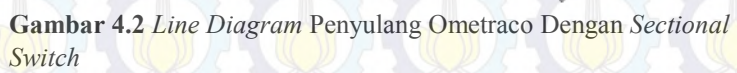
- GI Simpang
 - Penyulang Tunjungan
 - Penyulang Ometraco
- GI Kupang
 - Penyulang Basuki Rahmat
 - Penyulang Kaliasin
 - Penyulang Tegalsari

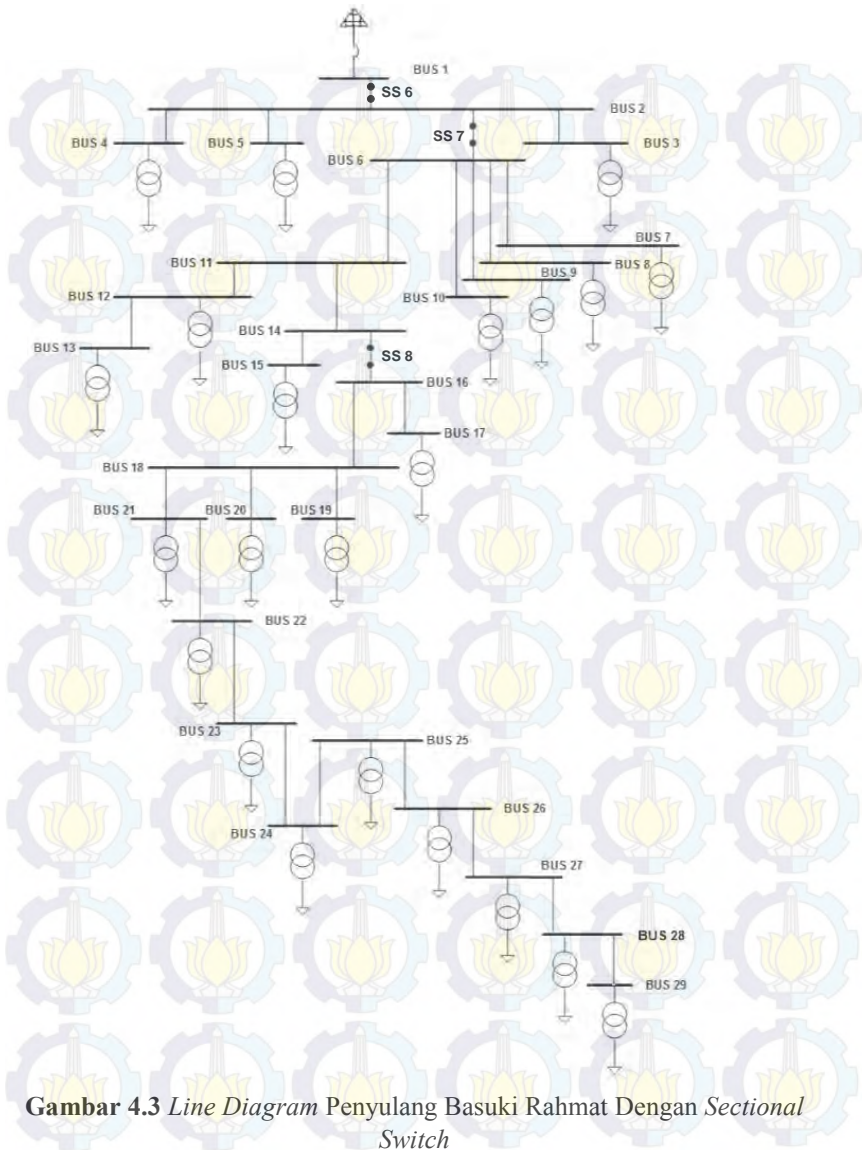
Jaringan distribusi 20 KV Surabaya disimulasikan telah terjadi kontingensi sehingga perlu dilaksanakan suatu perbaikan. Kontingensi yang dimaksud adalah salah satu penyulang mengalami beban berlebih dan salah satu penyulang mengalami *trip*.

Kelima penyulang tersebut telah ditambahkan dengan *sectional switch* dan *tie switch* agar dapat dilakukan rekonfigurasi jaringan distribusi. *Sectional switch* digunakan untuk membagi penyulang menjadi tiap – tiap daerah sehingga mempermudah penentuan konfigurasi jaringan yang baru. *Sectional switch* dapat dimanfaatkan juga sebagai *fault isolation* agar daerah lain tidak terdampak gangguan yang terjadi. *Tie switch* berfungsi untuk memindahkan beban suatu penyulang ke penyulang lain. Sebanyak 14 *sectional switch* dan 4 *tie switch* ditambahkan pada kelima penyulang seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 hingga 4.5.

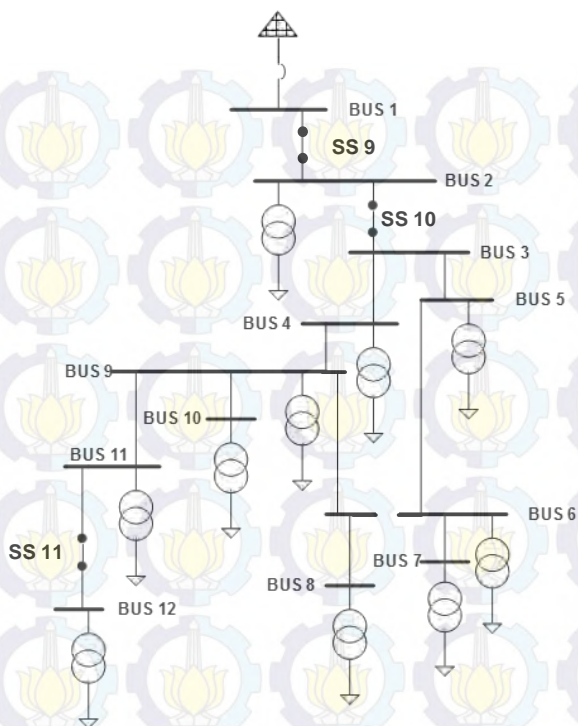


Gambar 4.1 *Single Line Diagram Penyulang Kaliasin Dengan Sectional Switch*

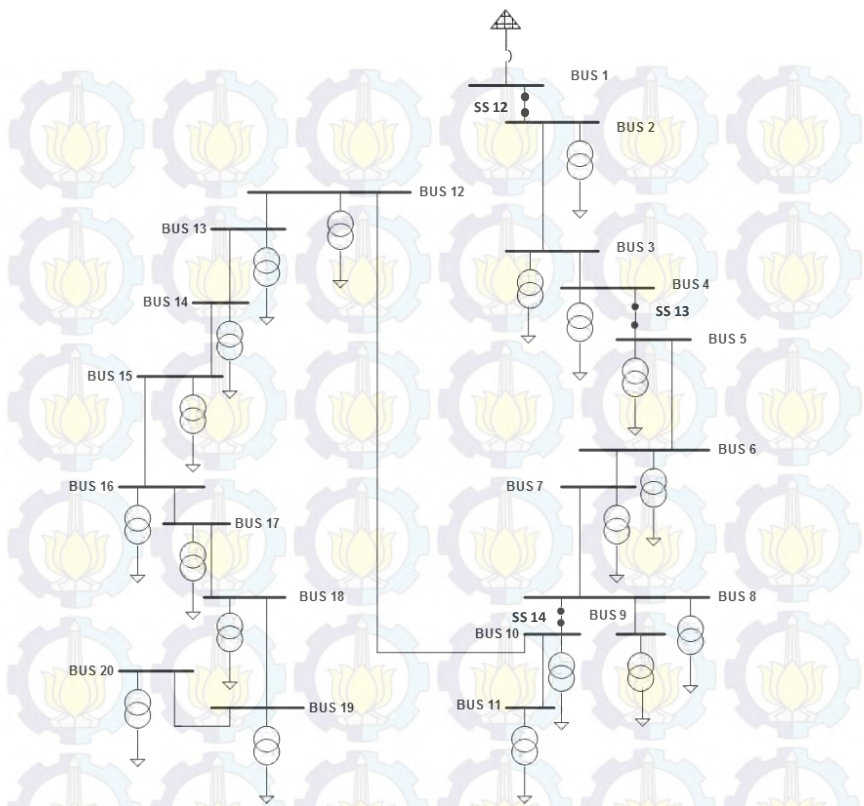




Gambar 4.3 *Line Diagram* Penyalang Basuki Rahmat Dengan *Sectional Switch*



Gambar 4.4 *Line Diagram Penyulang Tunjungan Dengan Sectional Switch*



Gambar 4.5 *Line Diagram* Penyulang Tegalsari Dengan *Sectional Switch*

4.2. Studi Kasus dan Hasil Analisa

Simulasi jaringan distribusi 20 KV Surabaya akibat kontingensi menggunakan beberapa studi kasus untuk memudahkan analisa. Setiap simulasi akan berfokus pada nilai profil tegangan saja.

Tabel 4.1 Studi Kasus Simulasi

Kasus	Keterangan
1	Semua penyulang pada keadaan normal
2	Penyulang Ometraco mengalami <i>overload</i>
3	Penyulang Basuki Rahmat mengalami <i>trip</i>

4.2.1. Studi Kasus 1

Pada studi kasus pertama, semua penyulang dalam keadaan normal. Analisa aliran daya disimulasikan pada semua penyulang dan hasilnya digunakan sebagai dasar dalam analisis pada kasus berikutnya.

4.2.1.1. Penyulang Kaliasin

Setiap penyulang memiliki data impedansi saluran dan data beban. Data penyulang Kaliasin yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Data Impedansi Saluran Penyulang Kaliasin Kasus 1

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	2,650	1,300
2	3	0,053	0,026
2	4	0,663	0,333
4	5	0,103	0,051
4	6	0,105	0,052
5	7	0,138	0,068
7	8	0,610	0,299
7	9	0,140	0,069
9	10	0,530	0,260

Tabel 4.3 Data Beban Penyulang Kaliasin Kasus 1

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0	0
3	0,399	0,241
4	0	0
5	0,517	0,324
6	0,229	0,153
7	0	0

Lanjutan Tabel 4.3

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
8	0,424	0,249
9	0	0
10	0,109	0,0272

Dari hasil simulasi diperoleh nilai tegangan, arus, rugi – rugi daya seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Jaringan yang digunakan adalah tiga fasa seimbang sehingga pada tabel dan simulasi hanya ditunjukkan salah satu fasa saja.

Tabel 4.4 Hasil Aliran Daya Penyulang Kaliasin Kasus 1

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	24,61	0
2	19,996	24,61	0,08
3	19,961	22,96	0,79
4	19,956	21,26	0,10
5	19,954	19,94	0,04
6	19,945	19,84	0,16
7	19,943	19,34	0,05
8	19,932	18,04	0,18
9	19,932	1,16	0
10	19,922	16,20	0,14
11	19,918	5,53	0,02
12	19,906	10,35	0,16
13	19,899	9,17	0,06
14	19,898	8,07	0,01
15	19,893	7,56	0,04
16	19,893	6,06	0
17	19,892	4,95	0
18	19,891	3,23	0
19	19,891	3,15	0
20	19,891	0,50	0
Total Rugi Daya			1,83

Simulasi yang telah dijalankan menunjukkan bahwa nilai tegangan pada setiap bus masih dalam nilai yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ dari 20 KV. Rugi daya yang dihasilkan sebesar 1.83 KW.

4.2.1.2. *Penyulang Ometraco*

Setiap penyulang memiliki data impedansi saluran dan data beban. Data penyulang Ometraco yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Data Impedansi Saluran Penyulang Ometraco Kasus 1

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	1,000	0,491
2	3	0,265	0,130
3	4	0,048	0,234
4	5	0,265	0,130
4	6	0,286	0,140
5	7	0,265	0,130
6	8	0,265	0,130
7	12	0,265	0,130
8	9	0,265	0,260
8	10	0,265	0,130
10	11	0,265	0,130
12	13	0,265	0,130

Tabel 4.6 Data Beban Penyulang Ometraco Kasus 1

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0,0807	0,0197
3	0,0225	0,0046
4	0,5990	0,0197
5	0,0260	0,0043

Lanjutan Tabel 4.6

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
6	0,0411	0,0077
7	0,5700	0,1080
8	0,3540	0,0720
9	0,6860	0,1850
10	0,0497	0,0092
11	0,3287	0,0948
12	0,1210	0,2030
13	0,1209	0,0257

Dari hasil simulasi diperoleh nilai tegangan, arus, rugi – rugi daya seeperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7. Jaringan yang digunakan adalah tiga fasa seimbang sehingga pada tabel hanya ditunjukkan salah satu fasa saja.

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Kasus 1

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	154,63	0
2	19,833	154,63	23,91
3	19,790	150,45	6
4	19,777	149,20	1,07
5	19,765	43,17	0,49
6	19,754	76,32	1,67
7	19,753	41,84	0,46
8	19,732	74,21	1,46
9	19,720	36,03	0,34
10	19,726	19,90	0,10
11	19,721	17,35	0,08
12	19,749	12,47	0,04
13	19,747	6,26	0,01
Total Rugi Daya			35,64

Dari hasil simulasi yang telah dijalankan, terlihat bahwa nilai tegangan tiap bus masih dalam nilai yang diizinkan ($\pm 5\%$) sedangkan rugi daya yang dihasilkan sebesar 35,64 KW.

4.2.1.3. *Penyulang Basuki Rahmat*

Setiap penyulang memiliki data impedansi saluran dan data beban. Data penyulang Kaliasin yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Data Impedansi Saluran Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	1,489	0,731
2	3	0,265	0,13
2	4	0,066	0,033
2	5	0,062	0,031
2	6	0,265	0,13
6	7	0,133	0,065
6	8	0,133	0,065
6	9	0,133	0,065
6	10	0,133	0,065
6	11	0,265	0,13
11	12	0,133	0,065
11	13	0,133	0,065
11	14	0,795	0,39
14	15	0,133	0,065
14	16	0,344	0,169
16	17	0,133	0,065
16	18	0,167	0,082
18	19	0,133	0,065
18	20	0,133	0,065
18	21	0,265	0,13

Lanjutan Tabel 4.8

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
21	22	0,311	0,153
22	23	0,066	0,033
23	24	0,138	0,068
24	25	0,265	0,13
25	26	0,066	0,039
26	27	0,116	0,069
27	28	0,12	0,058
27	29	0,265	0,13

Tabel 4.9 Data Beban Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0	0
3	0,0951	0,0238
4	0,0199	0,0114
5	0,0128	0,0026
6	0	0
7	0,111	0,0158
8	0,198	0,0282
9	0,0216	0,0044
10	0,588	0,532
11	0	0
12	0,29	0,218
13	0,151	0,0379
14	0	0

Lanjutan Tabel 4.9

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
15	0,021	0,004
16	0	0
17	0,104	0,0148
18	0	0
19	0,0223	0,0056
20	0,0347	0,0049
21	0,0285	0,0094
22	0,0499	0,0071
23	0,0431	0,0088
24	0,0257	0,0037
25	0,0297	0,0042
26	0,0291	0,041
27	0,198	0,114
28	0,0116	0,0029
29	0,0342	0,048

Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan, arus, rugi – rugi daya seeperti yang ditunjukkan pada tabel 4.10. Jaringan yang digunakan adalah tiga fasa seimbang sehingga pada tabel hanya ditunjukkan salah satu fasa saja.

Tabel 4.10 Hasil Aliran Daya Penyulang Basuki Rahmat Kasus 1

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	121	0
2	19,799	121	21,84
3	19,797	4,95	0,01
4	19,799	1,16	0
5	19,799	0,66	0
6	19,765	114,50	3,47

Lanjutan Tabel 4.10

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
7	19,764	5,67	0
8	19,764	10,12	0,01
9	19,765	1,12	0
10	19,759	40,13	0,21
11	19,747	59,78	0,95
12	19,745	18,37	0,04
13	19,746	7,88	0,01
14	19,717	34,19	0,93
15	19,717	1,08	0
16	19,705	33,12	0,38
17	19,704	5,33	0
18	19,699	27,93	0,13
19	19,699	1,17	0
20	19,699	1,78	0
21	19,692	25,06	0,17
22	19,684	23,55	0,17
23	19,682	21,11	0,03
24	19,679	18,96	0,05
25	19,674	17,72	0,08
26	19,673	16,32	0,02
27	19,671	14,96	0,03
28	19,671	0,61	0
29	19,670	3	0
Total Rugi Daya			28,53

Dari hasil simulasi yang telah dijalankan, terlihat bahwa nilai tegangan tiap bus masih dalam nilai yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ dari 20 KV. Rugi daya yang dihasilkan sebesar 28,53 KW.

4.2.1.4. Penyulang Tunjungan

Setiap penyulang memiliki data impedansi saluran dan data beban. Data penyulang Tunjungan yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Data Impedansi Saluran Penyulang Tunjungan Kasus 1

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	0,265	0,130
2	3	0,265	0,130
3	4	0,265	0,130
3	5	0,265	0,130
5	6	0,265	0,130
6	7	0,265	0,130
4	8	0,265	0,130
4	9	0,530	0,260
9	10	0,265	0,130
9	11	0,265	0,130
11	12	0,265	0,130

Tabel 4.12 Data Beban Penyulang Tunjungan Kasus 1

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0,2387	0,0322
3	0,2540	0,0700
4	0,0612	0,0178
5	0,1000	0,0250
6	0,5240	0,3550
7	0,2099	0,0573
8	0,0393	0,0421
9	0,6010	0,1300
10	0,2304	0,2062
11	0,0691	0,0171
12	0,2951	0,2339

Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan, arus, rugi – rugi daya seeperti yang ditunjukkan pada tabel 4.13. Jaringan yang digunakan adalah tiga fasa seimbang sehingga pada tabel hanya ditunjukkan salah satu fasa saja.

Tabel 4.13 Hasil Aliran Daya Penyulang Tunjungan Kasus 1

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	144,79	0
2	19,957	144,79	5,56
3	19,917	133,28	4,71
4	19,896	72,96	1,41
5	19,904	47,34	0,59
6	19,891	42,32	0,47
7	19,888	10,94	0,03
8	19,895	2,89	0,00
9	19,856	67,10	2,39
10	19,852	15,57	0,06
11	19,850	22,29	0,13
12	19,844	18,97	0,10
Total Rugi Daya			15,45

Dari hasil simulasi yang telah dijalankan, terlihat bahwa nilai tegangan tiap bus masih dalam nilai yang diizinkan ($\pm 5\%$). Rugi daya yang dihasilkan sebesar 30,85 KW.

4.2.1.5. *Penyulang Tegalsari*

Setiap penyulang memiliki data impedansi saluran dan data beban. Data penyulang Kaliasin yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Data Impedansi Saluran Penyulang Tegalsari Kasus 1

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	0,134	0,066
2	3	1,494	0,242

Lanjutan Tabel 4.14

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
3	4	0,217	0,106
4	5	0,101	0,050
5	6	0,403	0,197
6	7	0,127	0,063
7	8	0,559	0,274
8	9	0,133	0,065
8	10	0,546	0,268
10	11	0,717	0,352
10	12	1,502	0,737
12	13	0,660	0,324
13	14	0,083	0,041
14	15	0,643	0,315
15	16	0,089	0,043
16	17	0,171	0,084
17	18	0,265	0,130
18	19	0,060	0,029
19	20	0,089	0,044

Tabel 4.15 Data Beban Penyulang Tegalsari Kasus 1

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0,0317	0,0092
3	0,0337	0,0048
4	0,0256	0,0058
5	0,002	0,0002
6	0,0099	0,0014

Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan, arus, rugi – rugi daya seeperti yang ditunjukkan pada tabel 4.16. Jaringan yang digunakan adalah tiga fasa seimbang sehingga pada tabel hanya ditunjukkan salah satu fasa saja.

Lanjutan Tabel 4.15

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
7	0,0256	0,0042
8	0,0134	0,0038
9	0,0217	0,0079
10	0,0062	0,0012
11	0,108	0,0219
12	0,0236	0,0015
13	0,0218	0,0031
14	0,0096	0,0034
15	0,0297	0,0042
16	0,0211	0,0066
17	0,0333	0,0083
18	0,0012	0,0017
19	0,0524	0,0075
20	0,0095	0,0028

Tabel 4.16 Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Kasus 1

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,000	24,61	0
2	19,996	24,61	0,08
3	19,961	22,96	0,79
4	19,956	21,26	0,10
5	19,954	19,94	0,04
6	19,945	19,84	0,16
7	19,943	19,34	0,05

Lanjutan Tabel 4.16

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
8	19,932	18,04	0,18
9	19,932	1,16	0
10	19,922	16,20	0,14
11	19,918	5,53	0,02
12	19,906	10,35	0,16
13	19,899	9,17	0,06
14	19,898	8,07	0,01
15	19,893	7,56	0,04
16	19,893	6,06	0
17	19,892	4,95	0
18	19,891	3,23	0
19	19,891	3,15	0
20	19,891	0,50	0
Total Rugi Daya			1,83

Dari hasil simulasi yang telah dijalankan, terlihat bahwa nilai tegangan tiap bus masih dalam nilai yang diizinkan yaitu $\pm 5\%$ dari 20 KV. Rugi daya yang dihasilkan sebesar 1,83 KW.

4.2.2. Studi Kasus 2

Studi kasus kedua, Penyulang Ometraco dsimulasikan mengalami kelebihan beban. Pada kasus ini pembebanan pada penyulang Ometraco ditambah sehingga ketika dijalankan simulasi aliran daya, nilai arusnya melebihi nilai 400 A atau terjadi *overload*. Data impedansi saluran dan data beban penyulang Ometraco ketika sudah ditambahkan bebannya dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.18.

Tabel 4.17 Data Impedansi Saluran Penyulang Ometraco Kasus 2

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
1	2	1	0,491
2	3	0,265	0,130
3	4	0,048	0,234

Lanjutan Tabel 4.17

Saluran		Impedansi	
Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)
4	5	0,265	0,130
4	6	0,86	0,140
5	7	0,265	0,130
6	8	0,265	0,130
7	12	0,265	0,130
8	9	0,530	0,260
8	10	0,265	0,130
10	11	0,265	0,130
12	13	0,265	0,130

Tabel 4.18 Data Beban Penyulang Ometraco Kasus 2

Bus	Daya	
	P (MW)	Q (MVAR)
2	0,1807	0,1197
3	0,2225	0,2046
4	0,600	0,3003
5	0,626	0,4043
6	0,06411	0,4077
7	0,570	0,308
8	1,154	0,772
9	0,986	0,485
10	1,1497	0,2092
11	1,2287	0,7948
12	0,521	0,4203
13	0,6209	0,6257

Dengan mensimulasikan perhitungan aliran daya pada program Matlab maka didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Kasus 2

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	518,75	0
2	19,42402	518,75	269,10
3	19,2747	507,60	68,28
4	19,19607	492,25	11,63
5	19,15169	153,07	6,21
6	19,09875	305,72	26,73
7	19,11871	114,29	3,46
8	19,0202	266,12	18,77
9	18,98603	57,88	1,78
10	18,98009	136,11	4,91
11	18,95746	77,19	1,58
12	19,09573	81,13	1,74
13	19,08285	46,19	0,57

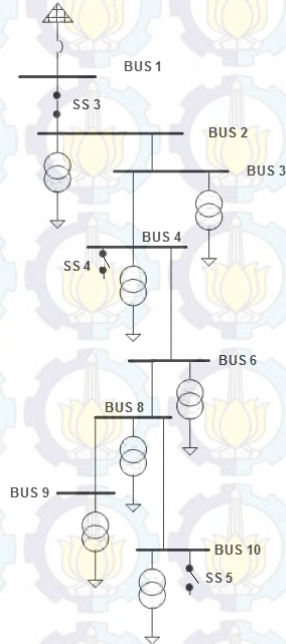
Dari hasil aliran daya pada tabel 4.19, dapat dilihat bahwa terdapat tegangan pada beberapa bus yang nilainya kurang dari 5% atau dibawah 19 KV yaitu pada bus 9, 10 dan 11 dengan masing – masing bernilai 18,986 KV, 19,980 KV dan 19,957 KV. Selain itu terdapat nilai arus yang melebihi standar yang ditentukan atau 400A pada bus 1, 2, 3 dan 4. Untuk mengatasi kejadian ini, dilakukan rekonfigurasi dan kemudian ditempatkan kapasitor pada jaringan untuk memperbaiki profil tegangan dan mengurangi arus.

4.2.2.1. Rekonfigurasi Penyulang Surabaya Kasus 2

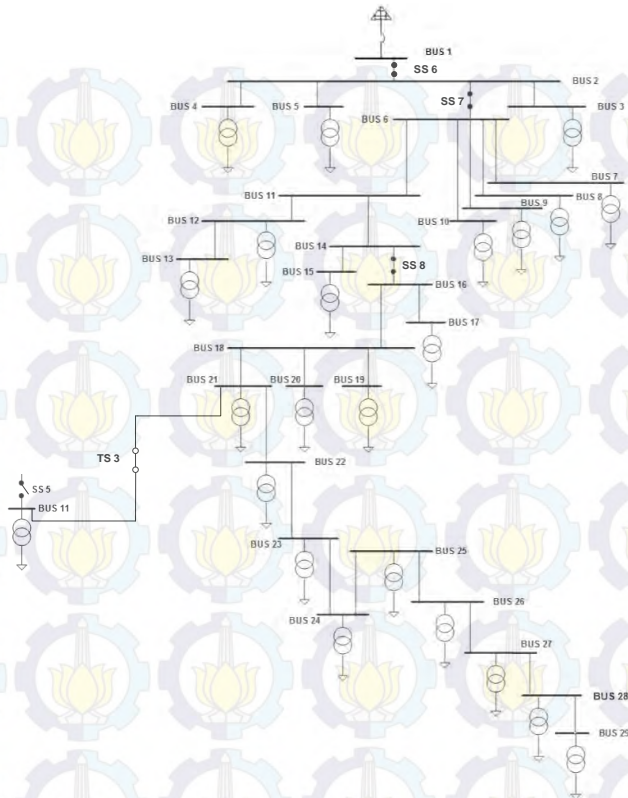
Salah satu usaha yang dilakukan untuk memperbaiki tegangan pada penyulang Ometraco adalah dengan merekonfigurasi jaringan penyulang Surabaya. Sebagian beban pada penyulang Ometraco akan ditanggung oleh penyulang lainnya.

Rekonfigurasi dilakukan dengan metode *Binary Integer Programming* untuk menemukan kombinasi konfigurasi yang paling optimal dengan memiliki total rugi daya yang paling kecil. Hasil kombinasi yang terpilih dari program adalah kombinasi pertama, yaitu SS 4 dan SS 5 *OPEN*,serta TS 3 dan TS 4 *CLOSE* Pada kombinasi ini

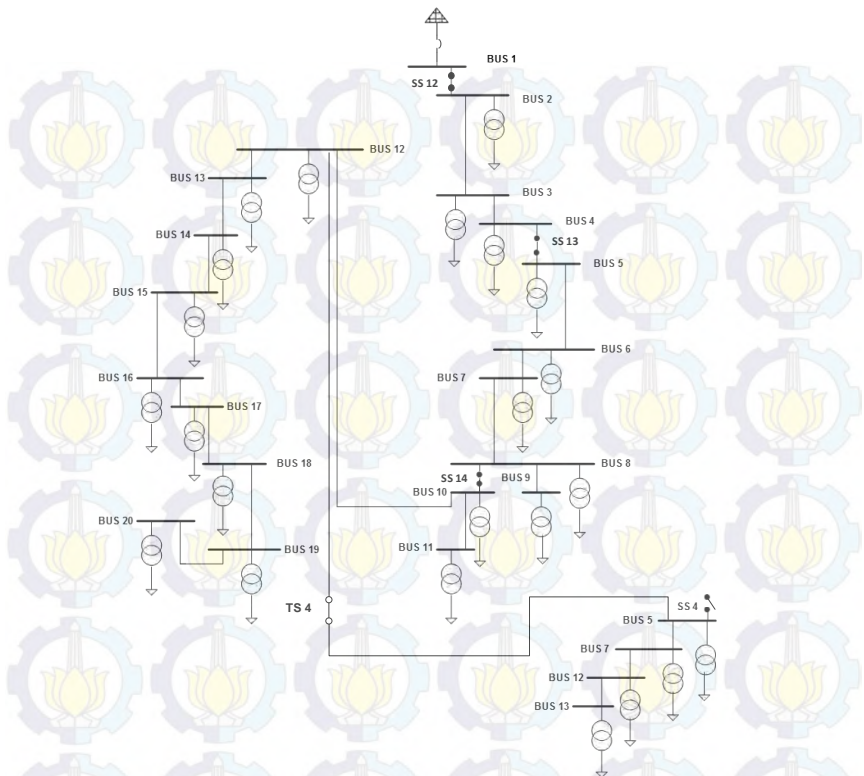
beberapa beban pada bus 5, 7, 12 dan 13 dari penyulang Ometraco dialihkan ke penyulang Tegalsari. Sedangkan beban pada bus 11 dialihkan ke penyulang Basuki Rahmat. Perubahan jaringan setelah dilakukan rekonfigurasi dapat dilihat pada gambar 4.6, 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.6 *Single line diagram* penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi



Gambar 4.7 *Single line diagram* Penyulang Basuki Rahmat Setelah Rekonfigurasi



Gambar 4.8 *Single line diagram* Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi

Setelah perubahan jaringan akibat rekonfigurasi, dijalankan aliran daya pada masing – masing penyulang yang terpilih seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.20, tabel 4.21, dan tabel 4.22.

Tabel 4.20 Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,0000	284,55	0
2	19,6830	284,55	80,97
3	19,6023	273,62	19,84
4	19,5259	258,83	17,75
5	19,4596	224,45	13,35
6	19,4048	185,76	9,14
7	19,3713	56,72	1,71
8	19,3877	60,27	0,96

Tabel 4.21 Hasil Aliran Daya Penyulang Basuki Rahmat Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,0000	126,73	0
2	19,7900	126,73	23,91
3	19,7886	4,95	0,01
4	19,7900	0,51	0,00
5	19,7900	0,66	0,00
6	19,7544	120,72	3,86
7	19,7536	5,68	0,00
8	19,7530	10,12	0,01
9	19,7542	1,12	0,00
10	19,7543	0,47	0,00
11	19,7237	104,06	2,87
12	19,7236	0,47	0,00
13	19,7225	7,89	0,01
14	19,6388	95,92	7,31
15	19,6388	0,11	0,00
16	19,6021	95,82	3,16
17	19,6013	5,36	0,00
18	19,5852	90,79	1,38
19	19,5850	1,17	0,00
20	19,5849	1,79	0,00
21	19,5593	87,98	2,05

Lanjutan Tabel 4.21

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
22	19,5553	12,07	0,05
23	19,5546	9,49	0,01
24	19,5535	7,25	0,01
25	19,5519	5,92	0,01
26	19,5516	4,38	0,00
27	19,5512	2,88	0,00
28	19,5511	0,61	0,00
29	19,5507	1,77	0,00
30	19,4342	75,30	8,52

Tabel 4.22 Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi Pada Kasus 2

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,0000	179,05	0
2	19,9734	179,05	4,30
3	19,7278	177,46	47,05
4	19,6857	175,90	6,71
5	19,6662	174,65	3,08
6	19,5886	174,56	12,28
7	19,5641	174,10	3,85
8	19,4575	172,90	16,71
9	19,4573	1,19	0,00
10	19,3544	171,07	15,98
11	19,3500	5,69	0,02
12	19,0809	165,53	41,16
13	19,0740	9,57	0,06
14	19,0733	8,42	0,01
15	19,0678	7,89	0,04
16	19,0672	6,32	0,00
17	19,0662	5,17	0,00
18	19,0653	3,37	0,00
19	19,0651	3,29	0,00
20	19,0650	0,52	0,00

Lanjutan Tabel 4.22

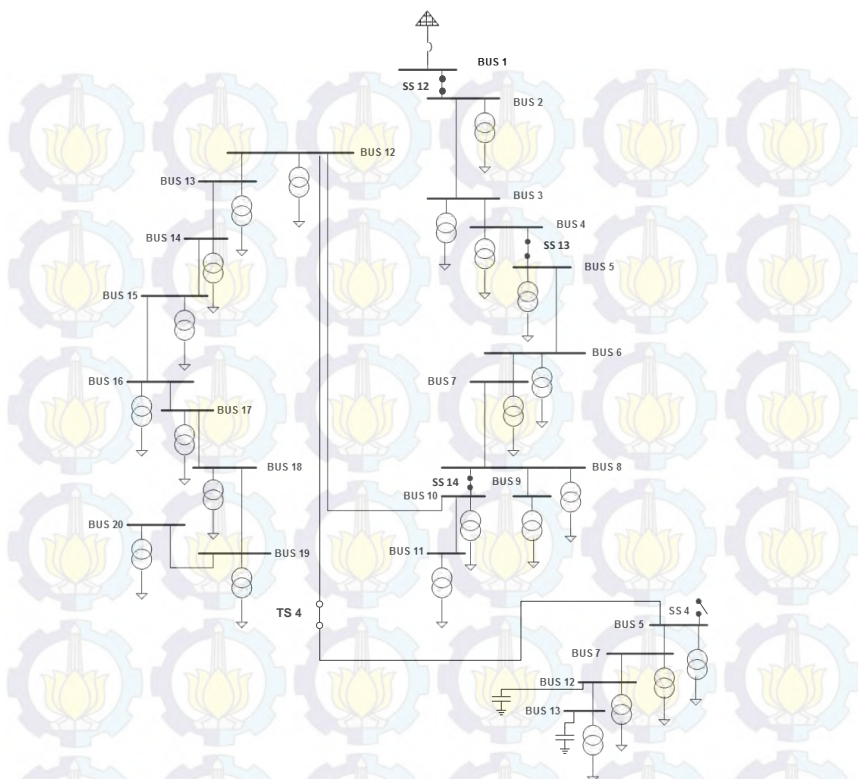
Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
21	18,8248	155,74	36,43
22	18,7913	116,29	3,58
23	18,7679	82,54	1,81
24	18,7548	47,00	0,59

Pada simulasi aliran daya hasil rekonfigurasi, pada penyulang Basuki Rahmat dan penyulang Ometraco tidak ada bus yang mengalami *undervoltage*. Sedangkan pada penyulang Tegalsari masih terdapat tegangan yang nilainya kurang dari standar yakni pada bus 21, 22, 23 dan 24 dengan tegangan terendah sebesar 18,754 KV.

4.2.2.2. Penempatan Kapasitor Penyulang Surabaya Kasus 2

Penempatan kapasitor diperlukan mempertimbangkan hasil rekonfigurasi yang menunjukkan masih terdapat nilai tegangan di bawah standar. Penentuan penempatan kapasitor pada jaringan dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm*. Dari hasil *Genetic Algorithm* yang telah dijalankan, penempatan kapasitor diperoleh pada bus 23 dengan kapasitas 0,72 MVAR dan bus 24 dengan kapasitas 0,72 MVAR. Penempatan kapasitor pada penyulang Tegalsari dapat dilihat pada gambar 4.9.

Setelah penambahan kapasitor pada penyulang Tegalsari, disimulasikan aliran daya yang menghasilkan nilai tegangan, arus dan rugi daya seperti pada tabel 4.23. Tabel 4.23 menunjukkan bahwa nilai tegangan pada penyulang Tegalsari telah memenuhi batas yang ada, yaitu $\pm 5\%$, serta arus yang melalui saluran masih dalam nilai standar ($< 400A$). Hal ini membuktikan bahwa dengan melaksanakan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor pada jaringan telah membuat sistem menjadi optimal. Perbandingan nilai tegangan ketika telah dilakukan rekonfigurasi dan setelah penempatan kapasitor terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.9 Penempatan Kapasitor pada penyulang Tegalsari

Tabel 4.23 Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Penempatan Kapasitor Kasus 2

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,0000	149,24	0
2	19,9787	149,24	2,98
3	19,7553	147,60	32,55
4	19,7216	145,88	4,62
5	19,7061	144,55	2,11
6	19,6442	144,45	8,41
7	19,6247	143,94	2,63

Lanjutan Tabel 4.23

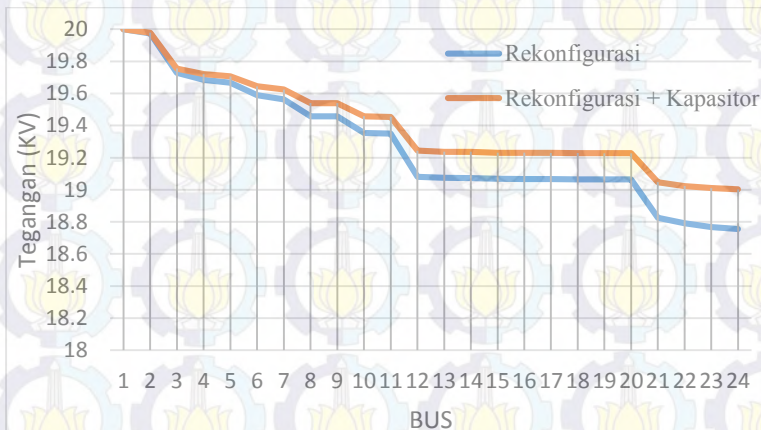
Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
8	19,5400	142,62	11,37
9	19,5398	1,18	0,00
10	19,4584	140,75	10,82
11	19,4540	5,66	0,02
12	19,2437	134,77	27,28
13	19,2369	9,49	0,06
14	19,2362	8,35	0,01
15	19,2307	7,82	0,04
16	19,2301	6,27	0,00
17	19,2292	5,12	0,00
18	19,2282	3,34	0,00
19	19,2280	3,26	0,00
20	19,2280	0,52	0,00
21	19,0466	124,07	23,12
22	19,0233	90,17	2,15
23	19,0100	63,56	1,07
24	19,0020	33,05	0,29

Tabel 4.24 Perbandingan Tegangan Pada Penyulang Tegalsari Kasus 2

Bus	Setelah Rekonfigurasi	Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor
1	20,0000	20,0000
2	19,9734	19,9787
3	19,7278	19,7553
4	19,6857	19,7216
5	19,6662	19,7061
6	19,5886	19,6442
7	19,5641	19,6247
8	19,4575	19,5400
9	19,4573	19,5398
10	19,3544	19,4584
11	19,3500	19,4540
12	19,0809	19,2437
13	19,0740	19,2369

Lanjutan Tabel 4.24

Bus	Setelah Rekonfigurasi	Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor
14	19,0733	19,2362
15	19,0678	19,2307
16	19,0672	19,2301
17	19,0662	19,2292
18	19,0653	19,2282
19	19,0651	19,2280
20	19,0650	19,2280
21	18,8248	19,0466
22	18,7913	19,0233
23	18,7679	19,0100
24	18,7548	19,0020



Gambar 4.10 Grafik perbandingan tegangan kasus 2

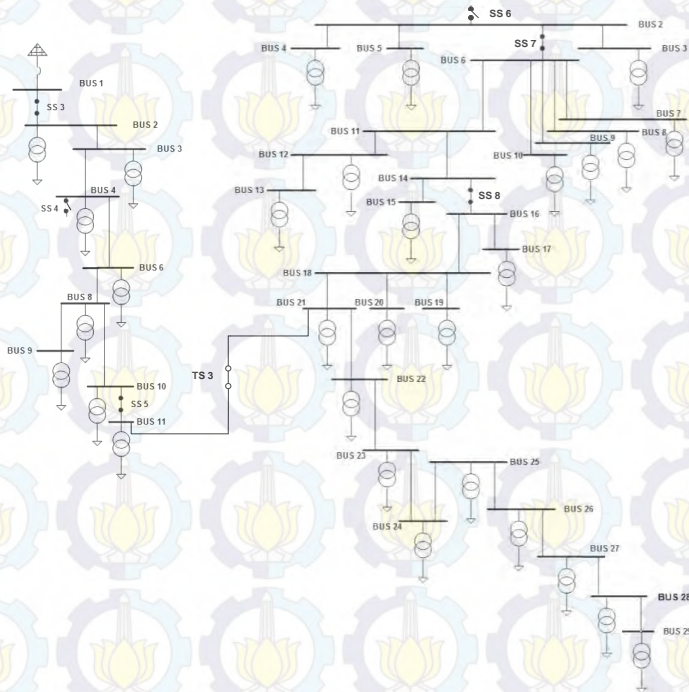
4.2.1. Studi Kasus 3

Pada studi kasus ketiga disimulasikan terjadi kontingensi yaitu Penyulang Basuki Rahmat mengalami trip sehingga semua beban tidak mendapatkan suplai daya. Beban pada penyulang Basuki Rahmat harus dialihkan pada penyulang lain agar suplai daya tetap terjaga. Beberapa

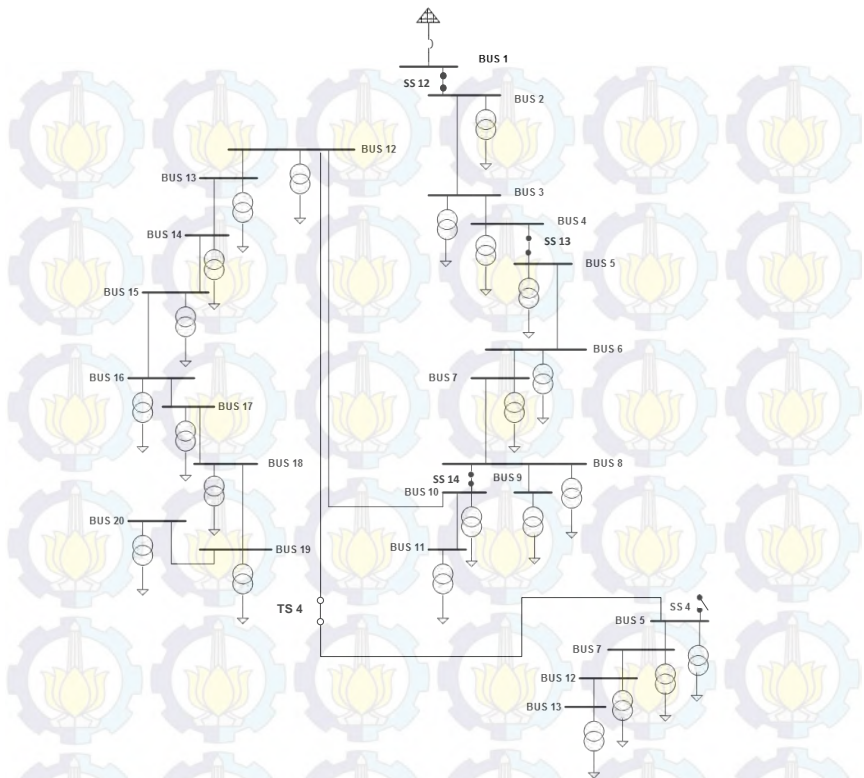
solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi akibat dari kontingensi ini adalah dengan merekonfigurasi jaringan penyalang Surabaya serta dengan menambahkan kapasitor pada penyalang Surabaya.

4.2.3.1. *Rekonfigurasi Penyalang Surabaya Kasus 3*

Rekonfigurasi dilakukan pada jaringan Surabaya dengan mengubah status *tie switch* maupun *sectional switch*. Rekonfigurasi dilakukan dengan metode *Binary Integer Programming*. Kombinasi yang terpilih dengan metode tersebut adalah kombinasi kedua yaitu SS 4 dan SS 6 *OPEN*, serta TS 3 dan TS 4 *CLOSE*. Kombinasi tersebut membuat semua beban pada Basuki Rahmat ditanggung oleh penyalang Ometraco dan sebagian penyalang Ometraco pada bus 5, 7, 12 dan 13 ditanggung oleh penyalang Tegalsari. Perubahan konfigurasi jaringan setelah rekonfigurasi dapat dilihat



Gambar 4.11 *Single Line Diagram* Penyalang Ometraco Setelah Rekonfigurasi



Gambar 4.12 *Single Line Diagram* Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi

Dari hasil rekonfigurasi, simulasi aliran daya dijalankan pada penyulang Ometraco dan Tegalsari untuk mendapatkan nilai tegangan, arus dan rugi daya pada tiap penyulang. Hasil aliran daya pada penyulang Ometraco dan Tegalsari dapat dilihat pada tabel 4.25 dan 4.26.

Tabel 4.25 Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Rekonfigurasi Kasus 3

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	245,75	0
2	19,728	245,75	60,39
3	19,657	241,56	15,46
4	19,628	240,40	2,77
5	19,560	211,44	12,79
6	19,499	209,35	11,61
7	19,487	36,46	0,35
8	19,453	155,08	6,37
9	19,408	152,56	6,17
10	19,118	135,16	28,32
11	19,109	23,41	0,17
12	19,108	20,83	0,03
13	19,105	18,56	0,05
14	19,100	17,25	0,08
15	19,099	15,74	0,02
16	19,097	14,27	0,02
17	19,097	0,63	0
18	19,096	1,81	0
19	19,085	110,35	3,23
20	19,085	1,20	0
21	19,085	1,84	0
22	19,065	107,44	1,93
23	19,064	5,51	0
24	19,026	102,25	3,60
25	19,026	1,12	0
26	18,936	101,18	8,14
27	18,933	19,16	0,05
28	18,935	8,22	0,01
29	18,914	74,26	1,46
30	18,914	5,93	0
31	18,913	10,57	0,01
32	18,913	11,66	0,02
33	18,908	41,94	0,23

Lanjutan Tabel 4.25

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
34	18,912	7,05	0,01
35	18,911	5,18	0,01
36	18,912	1,21	0
37	18,912	0,69	0

Tabel 4.26 Hasil Aliran Daya Penyulang Tegalsari Setelah Rekonfigurasi Kasus 3

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20	68,12	0
2	19,990	68,12	0,62
3	19,954	66,47	2,18
4	19,939	64,77	0,91
5	19,932	63,46	0,41
6	19,905	63,36	1,62
7	19,896	62,85	0,50
8	19,859	61,55	2,12
9	19,824	1,16	0
10	19,737	59,70	1,95
11	19,731	5,56	0,02
12	19,730	53,82	4,35
13	19,725	9,25	0,06
14	19,724	8,14	0,01
15	19,723	7,63	0,04
16	19,722	6,11	0
17	19,722	4,99	0
18	19,722	3,26	0
19	19,722	3,18	0
20	19,722	0,50	0
21	19,667	43,38	2,83
22	19,655	42,05	0,47
23	19,652	12,53	0,04
24	19,650	6,29	0,01

sehingga diperlukan tahapan perbaikan tegangan selanjutnya.

4.2.3.2. Penempatan Kapasitor Penyulang Surabaya Kasus 3

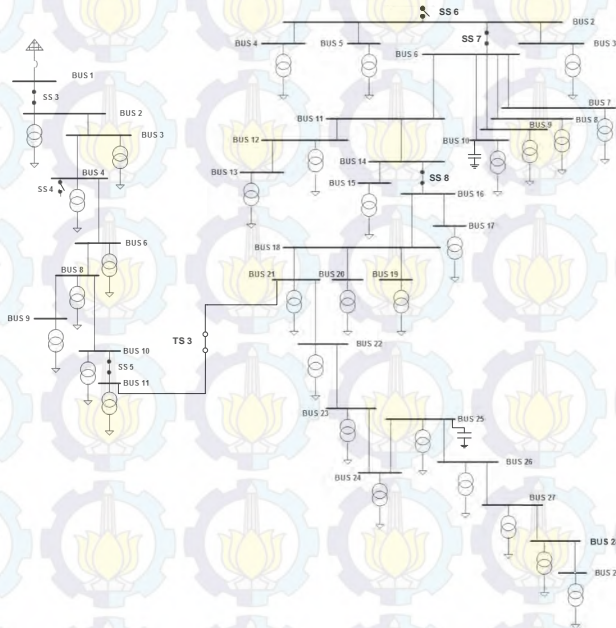
Penempatan kapasitor pada penyulang Surabaya diperlukan akibat adanya nilai tegangan yang di bawah standar pada penyulang Ometraco. Penentuan penempatan kapasitor dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm*. Penempatan kapasitor diperoleh sebanyak 2 buah pada bus 14 dengan 0,27 MVAR dan bus 33 dengan 0,90 MVAR di penyulang Ometraco. Penemntatan kanasitor nada nenvulang Ometraco dapat dilihat pada gambar

The diagram illustrates the power system configuration for Surabaya after capacitor placement. It shows a network of buses labeled BUS 1 through BUS 29, interconnected by transmission lines represented as horizontal and vertical segments. Several transformers are indicated by double circles with dots or crosses. Specific components like SS 6, SS 8, SS 9, TS 3, and SS 5 are also shown. Capacitors, depicted as two parallel circles, are placed at various locations along the distribution lines between different busbars. The background features a repeating pattern of stylized yellow lotus flowers and blue gears.

Gambar 4.13 Penempatan Kapasitor pada penyulang Ometraco

Setelah penambahan kapasitor pada penyulang Ometraco,

Penempatan kapasitor pada penyulang Surabaya diperlukan akibat adanya nilai tegangan yang di bawah standar pada penyulang Ometraco. Penentuan penempatan kapasitor dilakukan dengan metode *Genetic Algorithm*. Penempatan kapasitor diperoleh sebanyak 2 buah pada bus 14 dengan 0,27 MVAR dan bus 33 dengan 0,90 MVAR di penyulang Ometraco. Penempatan kapasitor pada penyulang Ometraco dapat dilihat pada gamb



Setelah penambahan kapasitor pada penyulang Ometraco,

disimulasikan aliran daya yang menghasilkan nilai tegangan, arus dan rugi daya seperti pada tabel 4.27 Pada tabel 4.27 terlihat bahwa nilai

tegangan tidak ada yang melebihi batas $\pm 5\%$, serta arus yang melalui saluran masih dalam nilai standar ($< 400\text{A}$). Hal ini membuktikan bahwa dengan rekonfigurasi dan penempatan kapasitor telah membuat sistem menjadi optimal. Perbandingan nilai tegangan pada penyulang Ometraco setelah rekonfigurasi dan setelah penempatan kapasitor dapat dilihat pada gambar 4.14.

Tabel 4.27 Hasil Aliran Daya Penyulang Ometraco Setelah Penempatan Kapasitor Kasus 3

Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
1	20,0000	231,73	0
2	19,7588	231,73	53,70
3	19,6961	227,57	13,72
4	19,6808	226,42	2,46
5	19,6226	196,01	10,99
6	19,5692	193,90	9,96
7	19,5574	36,33	0,35
8	19,5316	140,04	5,20
9	19,4948	137,48	5,01
10	19,3122	120,60	22,55
11	19,3063	22,70	0,16
12	19,3053	20,35	0,03
13	19,3034	18,42	0,05
14	19,3002	17,28	0,08
15	19,2990	15,57	0,02
16	19,2971	14,12	0,02
17	19,2970	0,62	0
18	19,2966	1,79	0
19	19,2861	97,28	2,51
20	19,2859	1,19	0
21	19,2858	1,82	0
22	19,2701	94,32	1,49
23	19,2694	5,45	0
24	19,2394	88,91	2,72
25	19,2392	1,11	0
26	19,1692	87,81	6,13
27	19,1665	18,93	0,05

Lanjutan Tabel 4.27

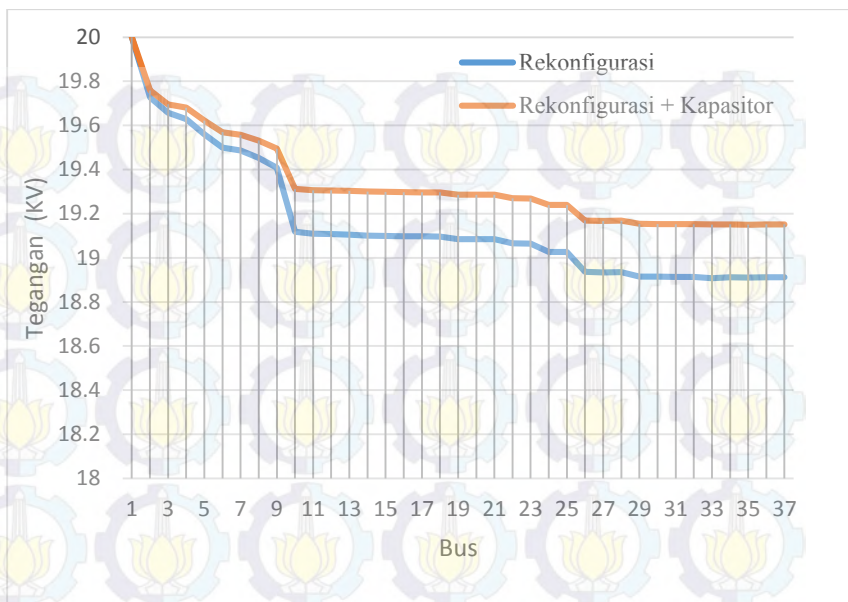
Bus	Tegangan (KV)	Arus (A)	Losses (KW)
28	19,1681	8,12	0,01
29	19,1537	66,01	1,15
30	19,1529	5,85	0
31	19,1522	10,44	0,01
32	19,1521	11,51	0,02
33	19,1509	36,22	0,17
34	19,1517	6,96	0,01
35	19,1502	5,12	0,01
36	19,1516	1,20	0
37	19,1516	0,68	0

Tabel 4.28 Perbandingan Tegangan Pada Penyulang Ometraco Kasus 3

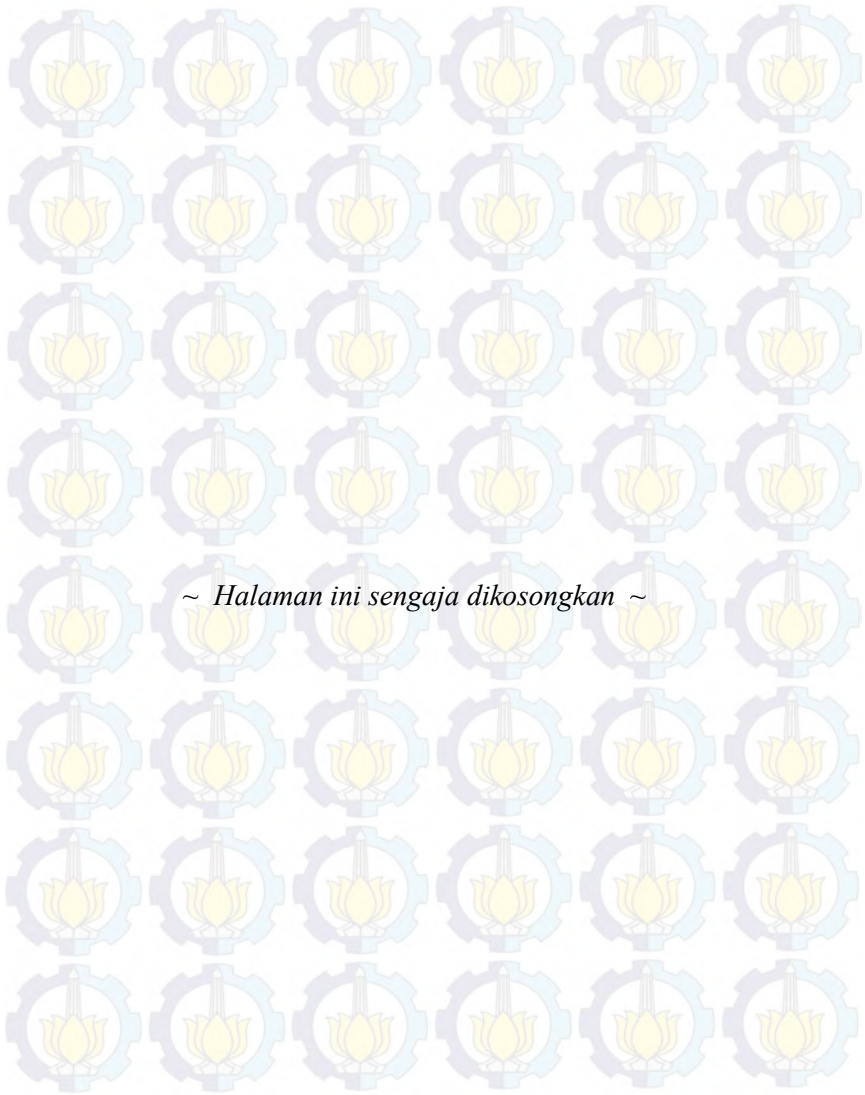
Bus	Setelah Rekonfigurasi (KV)	Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor (KV)
1	20	20
2	19,728	19,7588
3	19,657	19,6961
4	19,628	19,6808
5	19,560	19,6226
6	19,499	19,5692
7	19,487	19,5574
8	19453	19,5316
9	19,408	19,4948
10	19,118	19,3122
11	19,109	19,3063
12	19,108	19,3053
13	19,105	19,3034

Lanjutan Tabel 4.28

Bus	Setelah Rekonfigurasi (KV)	Setelah Rekonfigurasi dan Penempatan Kapasitor (KV)
14	19,100	19,3002
15	19,099	19,299
16	19,097	19,2971
17	19,097	19,297
18	19,096	19,2966
19	19,085	19,2861
20	19,085	19,2859
21	19,085	19,2858
22	19,065	19,2701
23	19,064	19,2694
24	19,026	19,2394
25	19,026	19,2392
26	18,936	19,1692
27	18,933	19,1665
28	18,935	19,1681
29	18,914	19,1537
30	18,914	19,1529
31	18,913	19,1522
32	18,913	19,1521
33	18,908	19,1509
34	18,912	19,1517
35	18,911	19,1502
36	18,912	19,1516
37	18,912	19,1516



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Tegangan Kasus 3



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Suatu kondisi yang diakibatkan oleh kontingensi dapat diperbaiki dengan melaksanakan rekonfigurasi jaringan maupun penempatan kapasitor pada penyulang.
2. Ketika penyulang Ometraco mengalami *overload*, tegangan mengalami sebesar 2 - 8 % dari keadaan normal. Sehingga dilakukan rekonfigurasi menggunakan metode *Binary Integer Programming* dengan kombinasi terpilih adalah SS 4 OPEN, SS 5 OPEN, TS 3 CLOSE dan TS 4 CLOSE.
3. Hasil rekonfigurasi pada kasus 2 menunjukkan masih ada tegangan dengan nilai di bawah standar yakni pada bus 21, 22, 23, 24 pada penyulang Tegalsari sehingga diperhitungkan pemasangan kapasitor pada penyulang tersebut.
4. Hasil metode *Genetic Algorithm* menunjukkan penempatan kapasitor sebanyak 2 buah pada bus 23 dengan kapasitas 720 KVAR dan bus dengan 24 kapasitas 720 KVAR. Setelah kapasitor terpasang, terlihat tegangan pada bus 21, 22, 23 dan 24 mengalami kenaikan dan memenuhi standar $\pm 5\%$ tegangan.
5. Ketika penyulang Ometraco mengalami trip, bebannya harus dialihkan pada penyulang lain. Rekonfigurasi menggunakan metode *Binary Integer Programming* menghasilkan kombinasi SS 4 OPEN, SS 6 OPEN, TS 3 CLOSE dan TS 4 CLOSE.
6. Hasil rekonfigurasi pada kasus 3 menunjukkan masih ada tegangan yang kurang dari standar yaitu pada bus 26 – 37 pada penyulang Ometraco sehingga dilakukan pemasangan kapasitor pada jaringan penyulang tersebut.
7. Hasil metode *Genetic Algorithm* menunjukkan penempatan kapasitor 2 buah pada bus 14 dengan 270 KVAR dan bus 33 dengan 900 KVAR di penyulang Ometraco. Setelah ditempatkan kapasitor, terlihat tegangan mengalami kenaikan dan memenuhi standar $\pm 5\%$ tegangan.

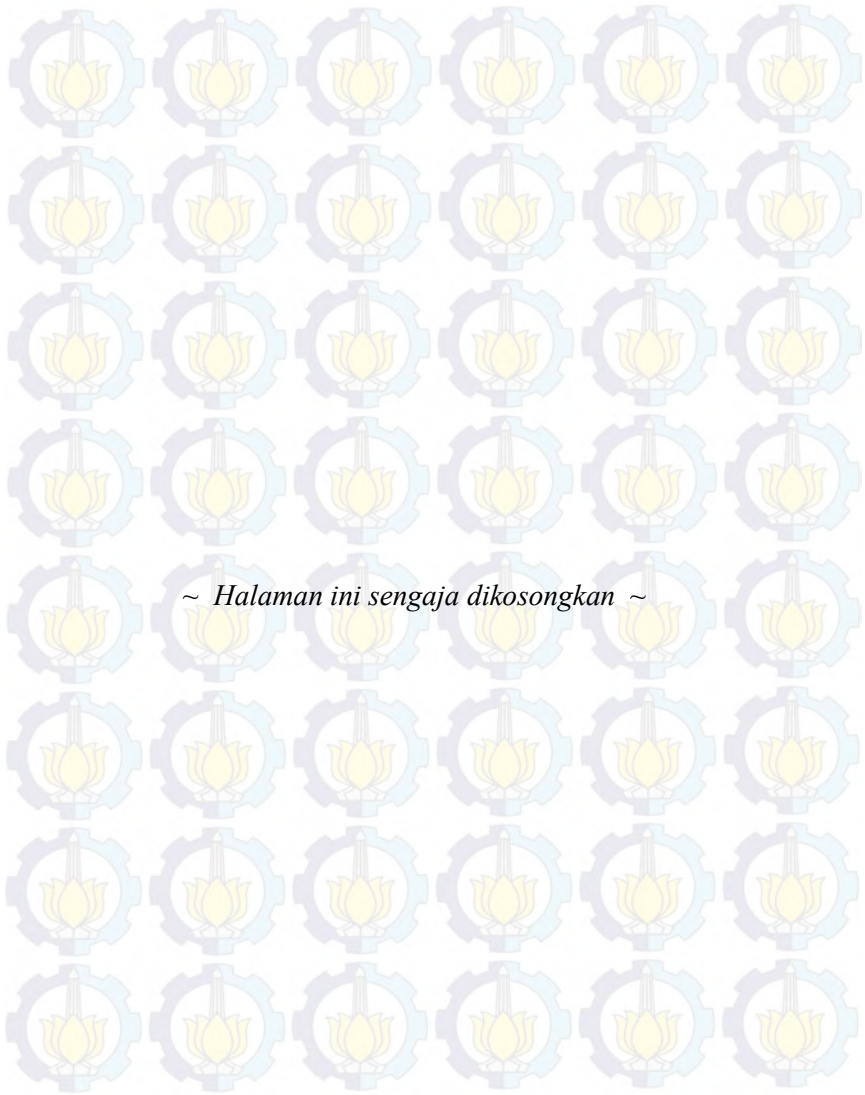
5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Program rekonfigurasi penyulang dapat dikembangkan dengan menggunakan metode lain yang dapat menunjukkan hasil yang lebih baik.
2. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan dengan menggunakan tiga solusi yaitu rekonfigurasi, penambah DG dan kapasitor serta dapat dikembangkan dengan *multi objective function*.
3. Untuk selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan studi kasus lain yang kemungkinan dapat terjadi pada jaringan distribusi lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prasetyo, Edwin Rozzaq. “Rekonfigurasi Penyulang Akibat Kontingensi Pada Jaringan Distribusi Dengan Metode *Binary Integer Programming*”. Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2014.
- [2] Prabandaru, Zainur Oktafian. “Optimasi Penentuan Lokasi Kapasior dan Rekonfigurasi Untuk Meminimalkan Kerugian Daya Pada Jaringan Distrsibusi Radial Menggunakan *Genetic Algorithm*”. Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2015.
- [3] Lin, Chia-Hung, chen, Chao-Shun dan Wu, Chia-Jean. *Feeder Reconfiguration for Distribution System Contingencies with Immune Algorithm*. IEE. 2001.
- [4] Wang, Minnan dan Zhong, Jin. “*A Novel Method for Distributed Genertaion and Capacitor Placement Considering Voltage Profiles*”. IEEE, 2011.
- [5] Chen, C.S, Lin, C.H, Wu,C.J, dan Kang M.S,”*Feeder Reconfiguration for Distribution Sistem Contingencies by Object Oriented Programming*”. IEEE, 2000.
- [6] Rgthaicharoencheep, N. dan Nedpograw, S. ”*Distribution System Operation for Power Loss Minimazation and Improved Voltage Profile with Distributed Generation and Capacitor Placements*”. IEEE, 2011.



LAMPIRAN

Gambar 1. Gardu Induk Kupang



Gambar 2. Penyulang Tegalsari dan Kaliasin



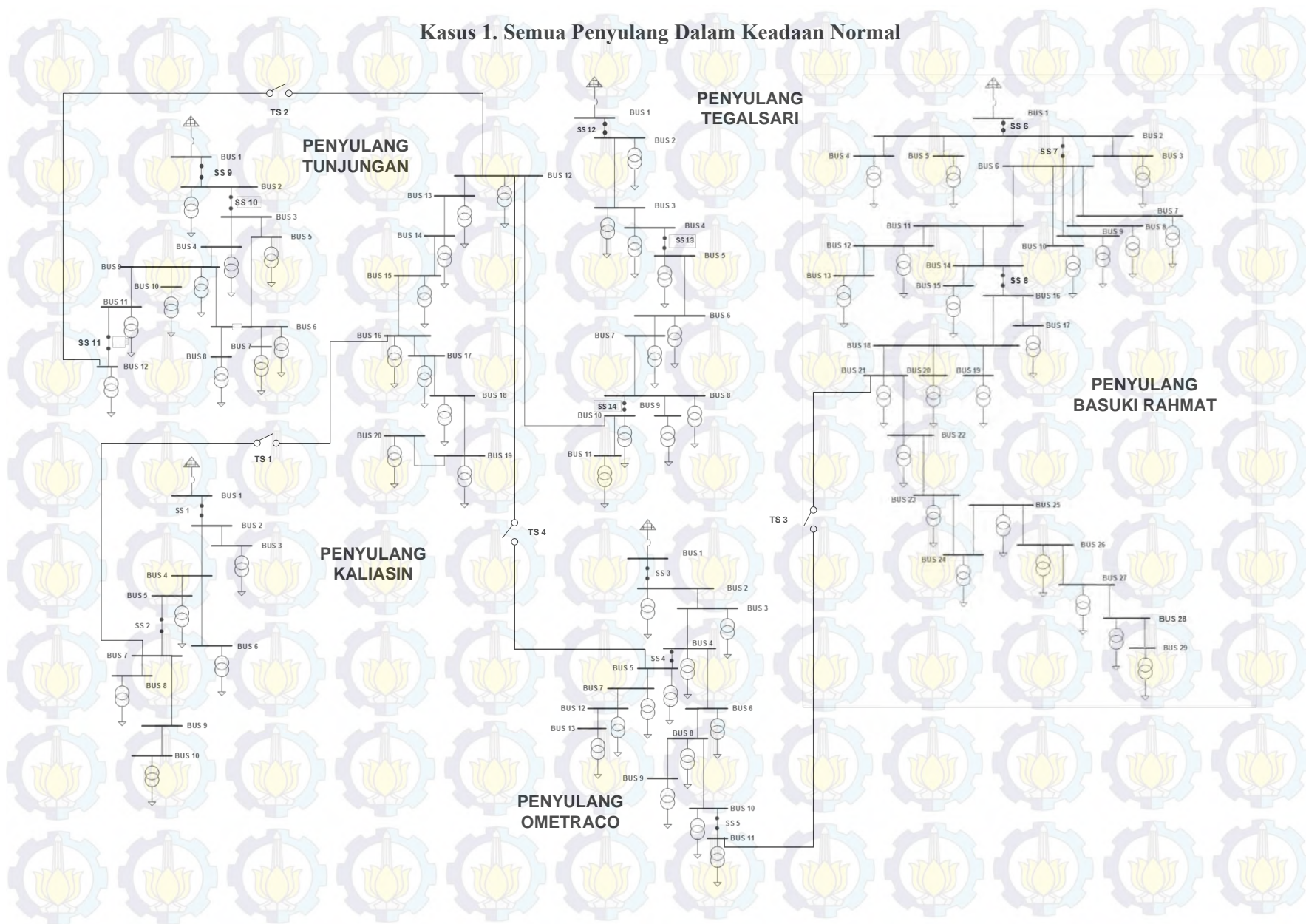
Gambar 3. Penyulang Basuki Rahmat



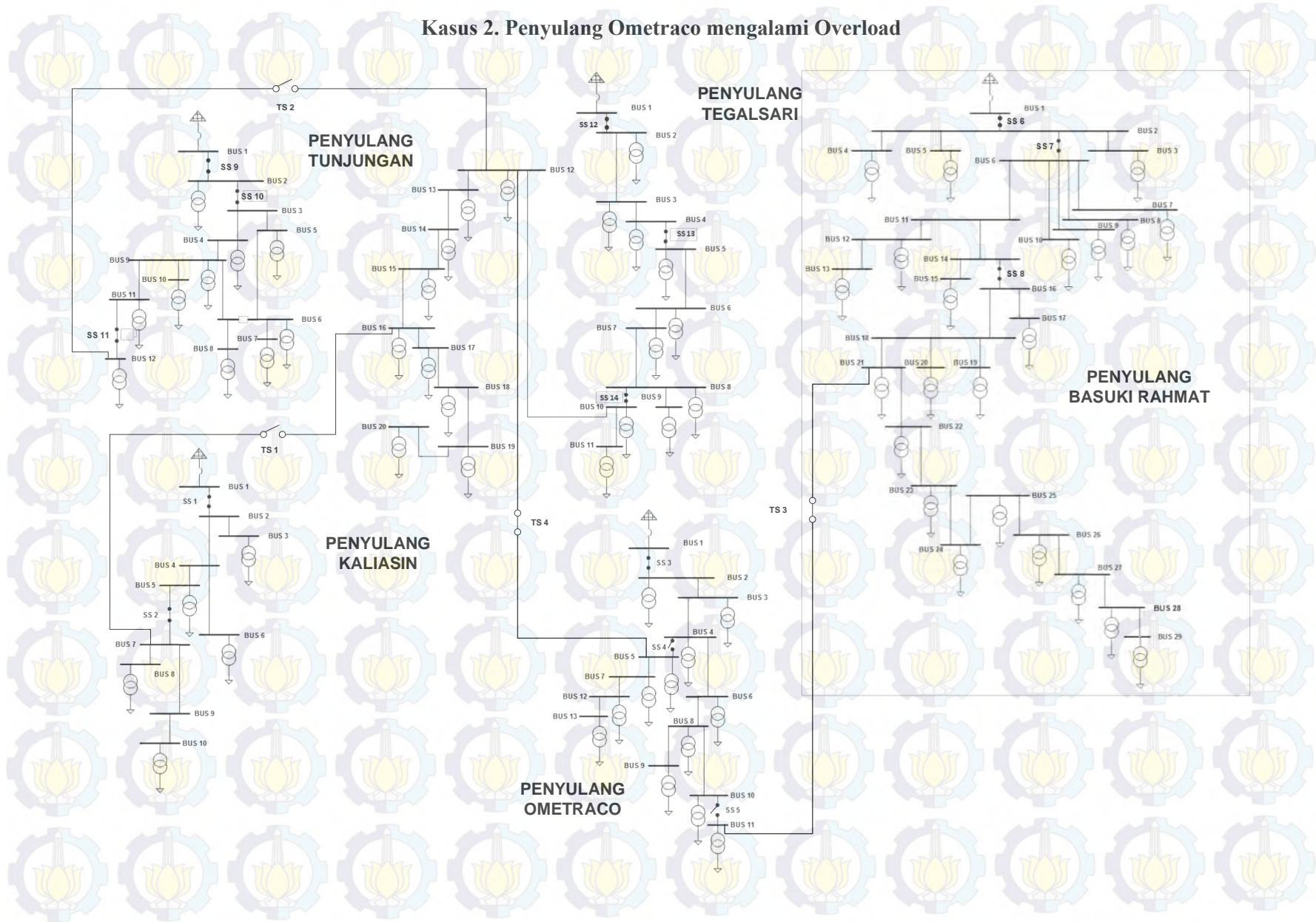
Gambar 4. Gardu Induk Simpang



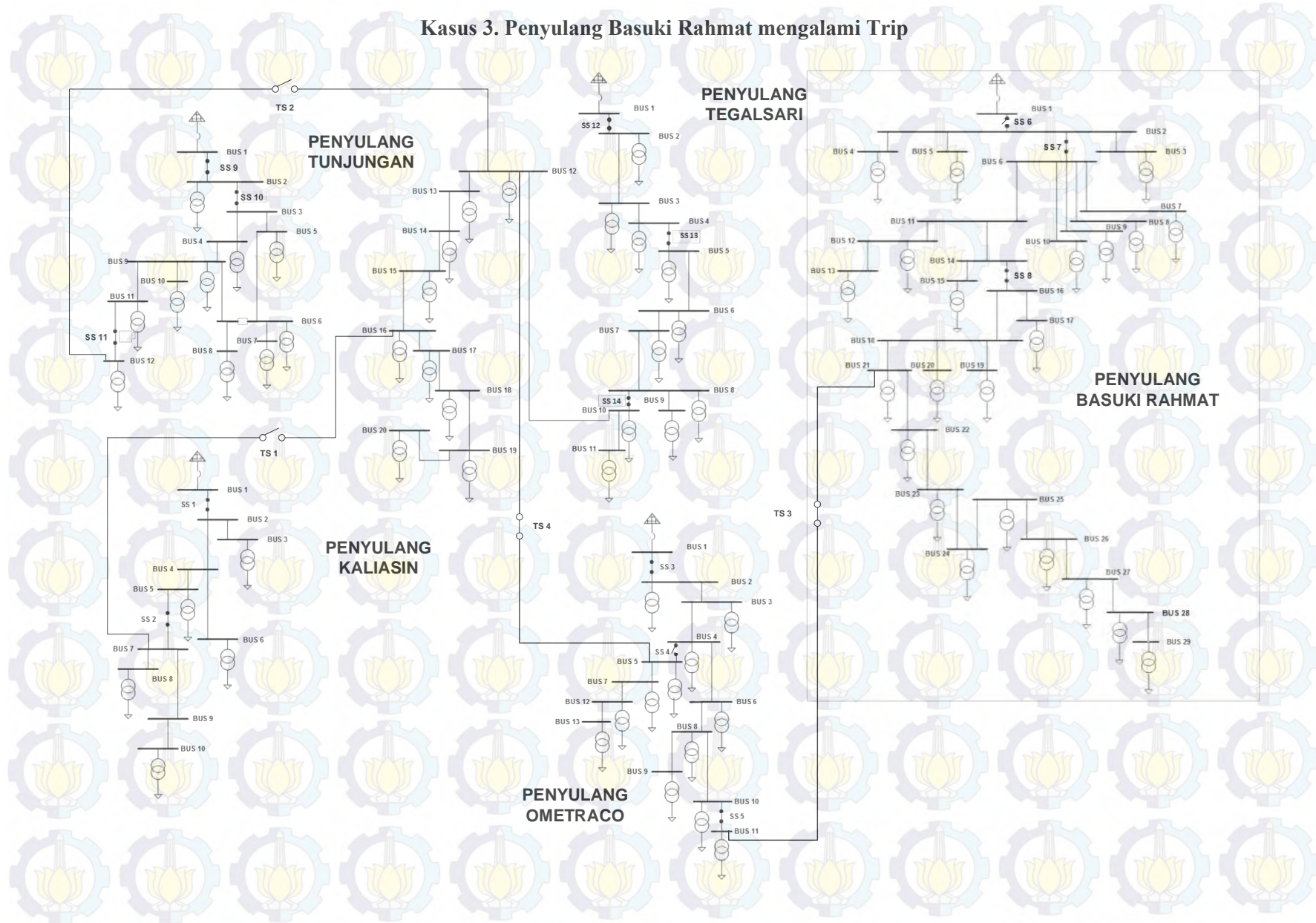
Kasus 1. Semua Penyulang Dalam Keadaan Normal



Kasus 2. Penyulang Ometraco mengalami Overload



Kasus 3. Penyulang Basuki Rahmat mengalami Trip



BIOGRAFI PENULIS



Risma Rizki Fauzi, terlahir sebagai anak ketiga dari empat bersaudara di Malang, 23 Januari 1993. Penulis tamat bangku sekolah dasar di SD Muhammadiyah 8 Malang pada tahun 2004. Melanjutkan studi di Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 3 Malang pada tahun 2007 dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 8 Malang Jurusan Mekatronika pada tahun 2010. Setelah lulus sekolah menengah, penulis melanjutkan studi di D3 dengan program studi Teknik Elektronika di Politeknik Negeri Malang dan lulus pada tahun 2013. Saat ini penulis sedang melanjutkan pendidikan untuk mendapatkan gelar Strata 1, melalui program Lintas Jalur di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga. Email : rismarizki93@gmail.com